

Учредитель журнала:
ООО Рекламно-издательская
фирма «Стройматериалы»

Журнал зарегистрирован
Министерством РФ по делам
печати, телерадиовещания
и средств массовой информации
ПИ №77-1989

Главный редактор
ЮМАШЕВА Е.И.

Редакционный совет:
РЕСИН В.И.
(председатель)

БАРИНОВА Л.С.
БУТКЕВИЧ Г.Р.
ВАЙСБЕРГ Л.А.
ВЕДЕРНИКОВ Г.В.
ВЕРЕЩАГИН В.И.
ГОНЧАРОВ Ю.А.

ГОРИН В.М.
ГРИДЧИН А.М.
ЖУРАВЛЕВ А.А.
КОВАЛЬ С.В.
КОЗИНА В.Л.
КРАСОВИЦКИЙ Ю.В.
ЛЕСОВИК В.С.
ПИЧУГИН А.П.
РУДЫЧЕВ А.А.
ФЕДОСОВ С.В.
ФИЛИППОВ Е.В.
ХИХЛУХА Л.В.
ЧЕРНЫШОВ Е.М.
ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.

Авторы
опубликованных материалов
несут ответственность
за достоверность приведенных
сведений, точность данных
по цитируемой литературе
и за использование в статьях
данных, не подлежащих
открытой публикации

Редакция
может опубликовать статьи
в порядке обсуждения,
не разделяя точку зрения автора

Перепечатка
и воспроизведение статей,
рекламных
и иллюстративных материалов
возможны лишь с письменного
разрешения главного редактора
Редакция не несет ответственности
за содержание рекламы и объявлений

Адрес редакции:

Россия, 127434, Москва,
Дмитровское ш., д. 9, корп. 3
Тел./факс: (495) 976-22-08
(495) 976-20-36
E-mail: mail@rifsm.ru
http://www.rifsm.ru

Технологии и оборудование

С.В. ФЕДОСОВ, В.И. БОБЫЛЕВ, А. МИТЬКИН, А.М. СОКОЛОВ, Г.Н. ЗАКИНЧАК
Электротепловая обработка бетона токами различной частоты4

Представлены возможности применения электротепловой обработки бетона токами различной частоты. Доказана эффективность и целесообразность применения эдктротепловой обработки взамен традиционных способов.

Ю.В. КРАСОВИЦКИЙ, В.И. НИКОЛАЕВ, Н.В. ПИГЛОВСКИЙ, М.Н. ФЕДОРОВА
Инерционные пылеуловители в производстве строительных материалов8

Приведены эксплуатационные параметры и конструктивные особенности инерционных пылеуловителей. На примере аппарата ПИ-10 показано, что расчетный метод наложения потерь является наиболее представительным и обеспечивает удовлетворительное совпадение с экспериментом. Сформулированы предварительно направления оптимизации аэродинамических условий движения пылегазового потока в инерционных пылеуловителях. Показано, что интенсификация процесса пылеулавливания может быть достигнута наложением акустического поля.

А.В. МОНАСТЫРЕВ

Инновационные шахтные печи противоточно-прямоточного фильтрующего слоя10

Представлена конструкция шахтной печи, в которой можно обжигать карбонатное сырье фракции 12–25 и 25–40 мм с получением извести. Производительность печей 300 т и более извести в сутки. Показан принцип работы печи.

XV Академические чтения РААСН «Достижения и проблемы материаловедения и модернизация строительной индустрии» (Информация)14

Сырьевая база отрасли

А.А. ЖУРАВЛЕВ

Рациональное использование сырья карбонатных месторождений17

Показаны различные направления использования карбонатного сырья в промышленности строительных материалов, химической, металлургической промышленности, в сельском хозяйстве, для технических целей. Приведены примеры комплексного использования сырья карбонатных месторождений различными предприятиями. Рассмотрены различные технологии добычи карбонатных пород в зависимости от геологических особенностей месторождения с применением различного добычного оборудования. На примере успешного промышленного эксперимента, проведенного на Пятовском карьереуправлении, доказана эффективность применения фрезерных комбайнов для селективной выемки карбонатных пород различной прочности. Сформулированы направления эффективного использования отсевов дробления карбонатных пород.

В.Н. КУШКА

Кубовидный щебень. Девять лет спустя20

Автор дискутирует с коллегами, которые до настоящего времени не признают эффективности применения так называемого кубовидного щебня и дробленого песка в практике дорожного строительства и производстве специальных бетонов. Показана высокая востребованность оборудования для производства щебня I группы, что подтверждает востребованность данного вида щебня. Предлагается провести исследования, направленные на определение рациональных областей применения данного вида продукции.

Бетоны: наука и практика

Н.В. РАПОПОРТ, П.Б. РАПОПОРТ, А.В. КОЧЕТКОВ, Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ

Обоснование необходимости введения и идентификации комплексной марки или класса бетона22

Выделен комплекс характеристик и свойств, изменение которых могло повлиять на долговременную прочность бетона. Это подтверждено результатами натуральных обследований и лабораторных испытаний, а также данными, опубликованными в отечественной и зарубежной технической литературе.

А.А. КАЛЬГИН, М.А. ФАХРАТОВ, В.И. СОХРЯКОВ

Опыт использования отходов дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий32

Показано, что после начала реализации программы Правительства Москвы по сносу пятиэтажных домов первых массовых серий, выработавших ресурс прочности, обострилась проблема утилизации строительных отходов. Перспективным направлением утилизации таких отходов является дробление лома железобетона на щебень. Приведены результаты исследований, показывающие, что вторичный щебень можно использовать для производства различных отсыпок и бетона для производства широкой номенклатуры изделий. Промышленная апробация на московских предприятиях ОАО «ДСК-1» показала, что экономическая эффективность применения вторичного щебня из отходов бетона и железобетона достигает 10% и более в зависимости от вида выпускаемой продукции.

Д.В. ОРЕШКИН

Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства34

Рассмотрены проблемы разработки облегченных и сверхлегких строительных растворов для кладки и штукатурки эффективных ограждающих конструкций из мелкоштучных элементов, крепления нефтяных и газовых скважин в условиях аномально низких пластовых давлений и многолетних мерзлых пород. Приводятся показатели качества для таких растворов.

В.П. ПЕТРОВ, С.А. ТОКАРЕВА

Формирование структуры особо легких пористых заполнителей38

Работа посвящена вопросам формирования структуры пористых заполнителей марок 250 и ниже. Такие заполнители применяются для изготовления однослойных стеновых конструкций. Доказано, что особо легкие заполнители можно получать из стеклосодержащих материалов и монтмориллонитового глинистого сырья. По-новому освещены вопросы вспучивания сырцовых гранул, кристаллизации расплава и стекловидной составляющей гранул.

В.В. БАБКОВ, Р.Р. САХИБГАРЕЕВ, Ром.Р. САХИБГАРЕЕВ, А.Е. ЧУЙКИН, В.В. КАБАНЕЦ

Роль аморфного микрокремнезема в процессах структурообразования и упрочнения бетонов44

Представлены результаты расчетов по выходу количества гидроксида кальция в реакциях гидратации и перекристаллизации клинкерных фаз портландцемента, а также взаимодействию гидроксида кальция с аморфным микрокремнеземом, вводимым в виде добавок типа МБ.

Наносистемы в строительном материаловедении (V Академические чтения РААСН, информация)47

Д.Д. ХАМИДУЛИНА

Оценка фрактальной размерности песков48

Показано, что фрактальная размерность дробленого песка на 23% больше, чем природного, что говорит о более шероховатой поверхности и возможности получения бетона с более высокими прочностными характеристиками. Рассмотрена возможность применения фрактальной геометрии для оценки фрактальной размерности песков. Приводится расчет фрактальной размерности природного песка и отсева дробления.

ИНТЕРСТРОЙЭКСПО-2010 (Информация)50

Древесина в строительстве

В.П. ЯРЦЕВ, О.А. КИСЕЛЕВА, С.В. ЕРМАКОВ

Влияние концентраторов напряжений на прочность древесины и древесно-полимерных композитов52

Для крепления древесных плит чаще всего используют соединения на гвоздях или шурупах, в результате в конструкциях появляются концентраторы напряжений, приводящие в свою очередь к снижению несущей способности изделия или конструкции. В статье предлагаются способы устранения данной проблемы. Подобраны составы для заделки концентраторов напряжений, а также найдено безопасное расстояние для расположения крепежных элементов.

А.Ю. ВАРФОЛОМЕЕВ

Динамика биологической деструкции древесины54

Выявлены недостатки существующих уравнений описания динамики биологической деструкции древесины. Определено более корректное уравнение для описания этого процесса, что подтверждено апробацией с использованием экспериментальных данных. Метод расчета рекомендуется для прогнозирования изменения технического состояния деревянных строительных конструкций в процессе длительной эксплуатации и использования при проектировании ремонтных работ.

И.В. КОТЕНЕВА, И.А. КОТЛЯРОВА, В.И. СИДОРОВ

Комплексная защита древесины составами на основе борозотных соединений56

Исследована возможность использования для «мягкого» модифицирования древесины составов, содержащих черырехкоординатные соединения бора. Установлено, что при модифицировании древесины разработанными составами значительно улучшаются ее эксплуатационные свойства.

Результаты научных исследований

А.Н. ГРИШИНА, Е.В. КОРОЛЕВ, М.С. ХЛЫСТУНОВ

Усадочные деформации радиационно-защитных строительных материалов на основе жидкого стекла59

Представлены результаты исследования усадки жидкостекольных строительных материалов, отвержденных различными отвердителями. Показана целесообразность использования хлорида бария по сравнению с кремнефтористым натрием.

М.Г. ГАБИДУЛЛИН, А.Н. ГАБИДУЛЛИНА

Основные принципы моделирования поведения пористой керамики при эксплуатации во влажных условиях. Часть 162

На основе модели объемного расположения пор разработана общая структурная модель пористой керамики в системе поры-стеклофаза-кристаллические новообразования. С использованием разработанного ПК «Структура» для модели определено количественное содержание основных структурных составляющих: микро-, резервных и макропор, стеклофазы и кристаллических новообразований. Моделируется влагонасыщение пор, для чего предварительно рассчитывается их объем. Принято, что под воздействием эксплуатационной влажности скелет модели (СФ+Кр.Ф) не претерпевает никаких изменений, а поры могут заполняться влагой в результате капиллярного всасывания, конденсации и водонасыщения. Поэтому для изучения изменений теплофизических свойств пористо-капиллярной структуры керамики от изменяющихся влажностных условий эксплуатации разработаны четыре варианта имитационных моделей их порового пространства.

Ю.А. БЕЛЕНЦОВ

Моделирование работы композиционных анизотропных материалов в условиях сейсмических воздействий66

Дан краткий анализ поведения различных по деформативным свойствам материалов. Показано, что для сейсмостойкого строительства необходимо применять композиционный анизотропный материал, поскольку чередование жестких и деформативных слоев в композиционном анизотропном материале при сохранении модуля деформаций позволяет повысить энергоемкость материалов.

Д.А. ШАСТИН, А.Р. ГАЛИМЗЯНОВА, Т.В. МАКАРОВ, С.И. ВОЛЬФСОН

Расширение областей применения этиленпропилендиенового каучука путем его направленной модификации ..68

Методом ИК-спектроскопии в образце силанольношшитого СКЭПТ подтвержден факт силанольной сшивки каучука СКЭПТ. Показано, что адгезия при отслаивании силанольношшитого СКЭПТ к вулканизированной резине выше немодифицированного СКЭПТ в 6 раз, а адгезия при сдвиге увеличилась на 50%. Методом ТГА выявлено увеличение термостойкости силанольношшитого СКЭПТ. Методом ДСК показано увеличение температуры начала деструкции силанольношшитого СКЭПТ на 55°C. Методом ДСК в изотермическом режиме при $t=180^{\circ}\text{C}$ выявлено увеличение времени начала деструкции для силанольношшитого СКЭПТ от 140 до 230 мин.

Материалы и конструкции

В.В. СТРОКОВА, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, А.В. МОСЬПАН, А.В. МАКСАКОВ

Стеновые автоклавные силикатные материалы пониженной теплопроводности с гранулированными заполнителями70

Показано, что использование гранул, полученных на основе природных аморфных кремнеземсодержащих материалов и гидроксидов щелочных металлов, в качестве заполнителей для силикатных бетонов позволяет получать ячеистые стеновые материалы пониженной плотности и теплопроводности; они имеют замкнутую пористость и нечеткую границу раздела между заполнителем и матрицей.

С. В. КОРНИЕНКО

Совершенствование конструктивного решения светопрозрачных ограждений при оценке теплопотерь72

Приведена методика расчета теплопотерь через ограждающие конструкции зданий за отопительный период с учетом краевых зон. Рассмотрены особенности этой методики применительно к светопрозрачным ограждениям. Показаны пути совершенствования конструктивного решения светопрозрачных ограждений при оценке теплопотерь.

Новости74*Уважаемые читатели!*

**Заканчивается подписной период
I полугодия 2010 г.**

**Если вы не оформили подписку на II полугодие 2010 г. на почте,
то сделать это сейчас можно в редакции.**

**Направьте заявку в редакцию по:
тел./факсу (495) 976-22-08, 976-20-36
электронной почте mail@rifsm.ru.**

**Воспользуйтесь возможностью подписаться
на электронную версию журнала «Строительные материалы»®**

**Полная информация о подписке на электронную версию
на сайте <http://ejournal.rifsm.ru/>**

Оставайтесь с нами всегда!

УДК 691.328.666:015.45

С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН, Г.Н. ЗАКИНЧАК д-р экон. наук, Ивановский государственный архитектурно-строительный университет;
Ю.А. МИТЬКИН, д-р техн. наук, А.М. СОКОЛОВ, канд. техн. наук (sam@vetf.ispu.ru), Ивановский государственный энергетический университет;
В.И. БОБЫЛЕВ, генеральный директор АО «ДСК» (Иваново)

Электротепловая обработка бетона токами различной частоты

Вопросы практического применения электротепловой обработки бетона уже достаточно хорошо разработаны, например в [1]. Несмотря на многие преимущества такого способа тепловой обработки, все же на предприятиях сборного железобетона и крупнопанельного домостроения продолжают господствовать традиционные методы: тепловлажностная обработка (ТВО) паром, обработка продуктами сгорания газа, подогрев опалубки горячей водой, которые имеют ряд серьезных недостатков, прежде всего по энергетической эффективности. Огромную потребность в применении электроразогрева бетона испытывают малые и средние предприятия, производящие продукцию небольшими сериями. Для них традиционные методы тепловой обработки практически недоступны. Такое положение дел обусловлено рядом причин, важнейшими из которых являются отсутствие необходимого технологического оборудования, в частности электрических источников питания с хорошими массогабаритными и технико-экономическими показателями, а также недостаток сведений по оценке эффективности электроразогрева бетона по сравнению с традиционными методами тепловой обработки.

Перспективным направлением развития электротепловой обработки бетона является применение для нее источников питания нового поколения, выполненных на основе полупроводниковых преобразователей напряжения. Это стало возможным благодаря появлению в последние годы новых силовых электронных компонентов в виде мощных высоковольтных транзисторов на токи до 300 А и напряжение до 1200–1500 В. Имеются примеры успешного применения таких источников питания большой мощности, соответствующей параметрам электротепловой обработки бетона, в смежных отраслях.

На рис. 1 представлена блок-схема источника питания на основе полупроводникового (транзисторного) преобразователя напряжения [2]. Такое устройство преобразует переменное синусоидальное напряжение 220/380 В 50 Гц питающей сети в регулируемое пере-

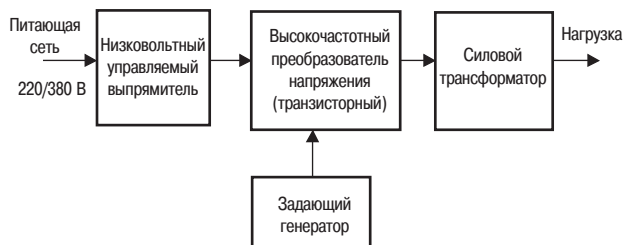


Рис. 1. Блок-схема источника питания на основе полупроводникового преобразователя напряжения

менное напряжение повышенной (ультразвуковой) частоты (15–50 кГц) прямоугольной формы, которое через силовой трансформатор прикладывается к нагрузке (обрабатываемому изделию). Трансформатор работает на высокой частоте, что многократно уменьшает его массу и габариты. Это и обеспечивает основной эффект от применения таких источников питания.

Источники питания, построенные по такой блок-схеме, обладают значительно лучшими массогабаритными и технико-экономическими показателями, чем существующие трансформаторные источники питания промышленной частоты 50 Гц [2].

Сведения о параметрах и характеристиках электротепловой обработки бетона с использованием источников питания такой конструкции в литературе отсутствуют, что обусловило необходимость проведения экспериментов и теоретических исследований в этом направлении.

Были выполнены эксперименты по электротепловой обработке образцов бетона (ГОСТ 10180–78) 100×100×100 мм класса В20 (осадка конуса 4–5 см), который получил широкое применение, токами с частотой 20 кГц прямоугольной формы и 50 Гц синусоидальной формы. Для осуществления электротепловой обработки бетонных образцов в ходе экспериментов был разработан и изготовлен лабораторный стенд, представленный на рис. 2.

Источник питания установки выполнен на силовых транзисторах типа IRG4PH50KD, имеет мощность 5 кВт и массу около 4 кг. В этих габаритах при незначительном увеличении массы может быть достигнута

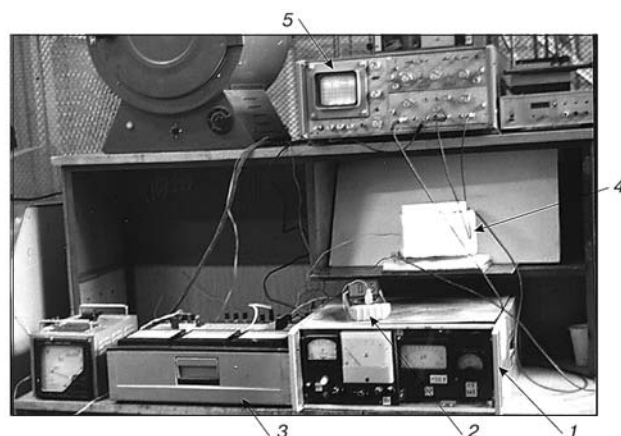


Рис. 2. Лабораторный стенд: 1 – источник питания на основе транзисторного преобразователя напряжения; 2 – мультиметр с термопарой для измерения температуры; 3 – комплект измерительных приборов; 4 – опалубка для изготовления и электротепловой обработки бетонного образца; 5 – осциллограф выходного напряжения 20 кГц.

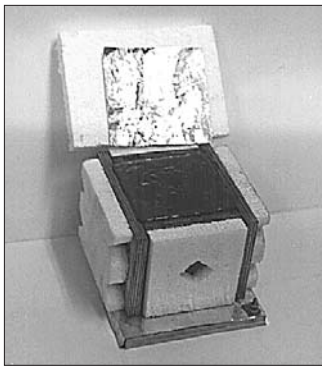


Рис. 3. Внешний вид опалубки после укладки и утрамбовки свежего бетона

Рис. 4. Партия опытных образцов. а – до испытаний на механическую прочность; б – после испытаний

мощность 20 кВт. Из таких однотипных блоков может быть составлен источник питания на любую мощность.

Для изготовления и электротепловой обработки образцов использовалась опалубка, выполненная из диэлектрических материалов (водостойкой ламинированной фанеры, стеклотекстолита) при наличии теплоизоляции в виде пенопласта толщиной 25 мм (рис. 3). Электротепловая обработка образцов проводилась путем пропускания через них электрического тока.

Этот способ обработки является наиболее простым, дешевым, эффективным, например по скорости разогрева и имеет самый высокий коэффициент полезного действия [1]. Длительность изотермической стадии электротепловой обработки при температуре 60°C и 80°C соответствовала достижению суточной механической прочности не менее 70% R28. Образцы после тепловой обработки выдерживались при комнатной температуре в течение 3–35 сут и подвергались механическим испытаниям на прессе типа П-125 для определения механической прочности на сжатие. В ходе экспериментов было изготовлено и испытано более 100 образцов (рис. 4).

Выполненные эксперименты подтвердили, что такая электротепловая обработка бетона обеспечивает практически однородное тепловое поле в объеме материала. Этот вывод можно сделать на основании рис. 5, где представлены температурные зависимости одного из образцов, полученные в ходе опыта. Наблюдается практически полное совпадение значений температуры, измеренной в 4 различных точках образца.

В результате экспериментов были получены обширные сведения по изменению электропроводности бетона в ходе электротепловой обработки при воздействии напряжений различной частоты (50 Гц и 20 кГц). Это

позволило разработать математическую модель изменения электропроводности бетона при любом графике электротепловой обработки, которая является составной частью методов расчета и оптимизации технологического оборудования и режимов его работы [3, 4].

Наибольшие интерес и практическое значение имеют полученные в ходе опытов по электротепловой обработке сведения о важнейшем параметре бетона – механической прочности на сжатие $R_{сж}$. На рис. 6 приведены экспериментальные зависимости набора прочности бетона в процессе его созревания после электротепловой обработки. Наблюдается разброс экспериментальных значений, одной из важнейших причин которого является вид используемого напряжения.

При использовании напряжения промышленной частоты 50 Гц (кривая 1 – рис. 6) нормированная прочность достигается, в среднем, на 15-е сут, а прочность после созревания бетона в 28 сут и более лишь на 12–15% выше нормированной. При использовании напряжения частоты 20 кГц нормированная прочность достигается на 8-е сут (2 – рис. 6), а после созревания бетона его прочность уже на 25–28% выше нормированной. Этот результат можно объяснить, по-видимому, явлением активации процессов твердения цементного камня под воздействием токов и электромагнитных полей ультразвуковой частоты. В итоге получается бетон уже более высокого класса, чем ожидается. При сроке созревания 25 сут и более ни один из испытанных образцов не имел прочности ниже нормированного значения. Это позволяет сделать однозначный вывод, что электротепловая обработка бетона токами промышленной и особенно, ультразвуковой частоты (20 кГц) обеспечивает требуемую прочность бетона и пригодна для промышленного применения.

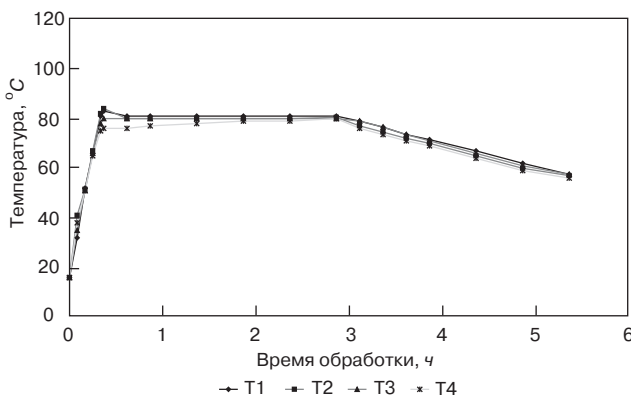


Рис. 5. Температурные зависимости стандартного образца (№ 78) в ходе электротепловой обработки: Т1 – в центре образца; Т2, Т3, Т4 – на поверхности (Т2 и Т4 – вблизи электродов, Т3 – посередине)

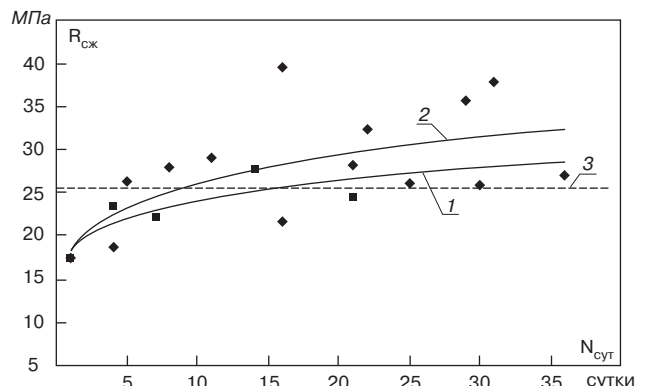


Рис. 6. Зависимости набора прочности для образцов, прошедших электротепловую обработку при различных условиях: 1 – зависимость для напряжения 50 Гц; 2 – зависимость для напряжения 20 кГц; 3 – нормированная прочность бетона.

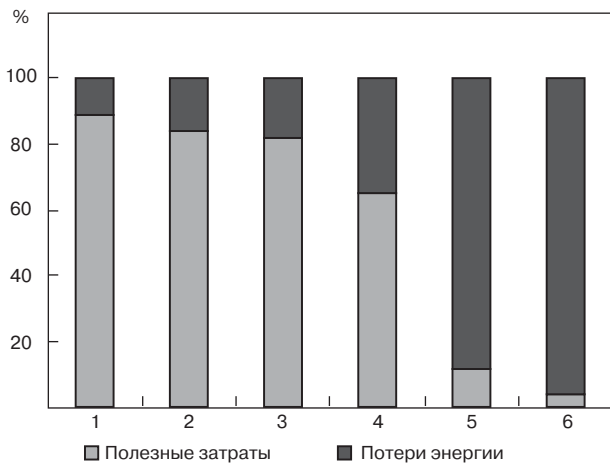


Рис. 7. Структура затрат полной энергии тепловой обработки железобетонных изделий: 1 – установки для предварительного разогрева бетонной смеси (среднее по табл. 4.3); 2 – электротепловая обработка в монолитном строительстве; 3 – устройство электротепловой обработки взамен ТВО на полигонной установке; 4 – электротепловая обработка при изготовлении пенополистирольных изделий; 5 – ТВО на полигонной установке; 6 – ТВО при изготовлении пенополистирольных блоков

Важным параметром установки для электротепловой обработки бетона является коэффициент полезного действия (КПД) источников питания на основе полупроводниковых (транзисторных) преобразователей напряжения. Он определяется как отношение мощности, которая передается с выхода источника в нагрузку (изделие в опалубке), к мощности, потребляемой им из питающей сети. По результатам всех экспериментов усредненное значение КПД источника питания, использованного в опытах, составило $\eta=0,91$. Такие источники питания хотя несколько уступают по этому показателю трансформаторным источникам 50 Гц (их КПД 0,94–0,98), имеют почти на порядок лучшие массогабаритные и стоимостные показатели [2].

В качестве вариантов первоочередного опытно-промышленного применения электротепловой обработки периодического действия целесообразно выбрать четыре следующих направления: а) использование установок электротепловой обработки взамен ТВО на полигонных установках; б) применение электротепловой обработки для изготовления изделий из пенополистирольного бетона; в) применение электротепловой обработки бетона при монолитном строительстве и г) применение электротепловой обработки

для предварительного разогрева бетона перед укладкой в опалубку.

Разработанная в ходе исследований методика расчетной оценки технических и энергетических показателей производственных установок для электротепловой обработки бетона и железобетонных изделий позволила выполнить сравнительные оценки этих показателей. Например, на рис. 7 показана структура полной энергии обработки в относительных значениях для всех вариантов опытно-промышленного применения электротепловой обработки в сравнении с ТВО. Согласно рис. 7 варианты с электротепловой обработкой несколько отличаются по структуре энергетических затрат, тем не менее, они значительно превосходят традиционные технологические процессы по величине доли полезных затрат энергии.

Весьма наглядной (рис. 8) является оценка энергетической эффективности электротепловой обработки по использованию энергии первичного энергоносителя – природного газа, который является источником энергии и для традиционных методов тепловой обработки бетона и при электротепловой обработке, так как не менее 60% электроэнергии производится на тепловых электрических станциях, где газ является доминирующим видом топлива. Рис. 8 позволяет сделать вывод, что в случае электротепловой обработки энергия природного газа используется почти в 5 раз эффективнее, чем при традиционных методах (34% против 7%).

Однако даже при переходе на электротепловую обработку картина использования природного газа выглядит весьма безрадостно. Учитывая, что на энергетику приходится около 40% потребляемого газа, а также потери в других отраслях народного хозяйства, можно уверенно сказать: при сжигании газа не менее 50% получаемой тепловой энергии бесполезно рассеивается в окружающую среду. Другими словами, природный газ фактически уничтожается в гигантских объемах – 140–170 млрд м³ в год. Будущие поколения вряд ли будут благодарны за такую безрассудную расточительность, и эту ситуацию следует квалифицировать, как полномасштабный энергетический кризис. По-видимому, требуются срочная разработка и реализация программ национального и глобального энергетического спасения. Центральное место этих программ должно занимать широкое использование электротехнологических процессов, в частности электротепловой обработки в строительной отрасли, при значительном увеличении производства электроэнергии путем безопасного развития атомной электростанции с удаленным размещением атомных станций [5, 6].

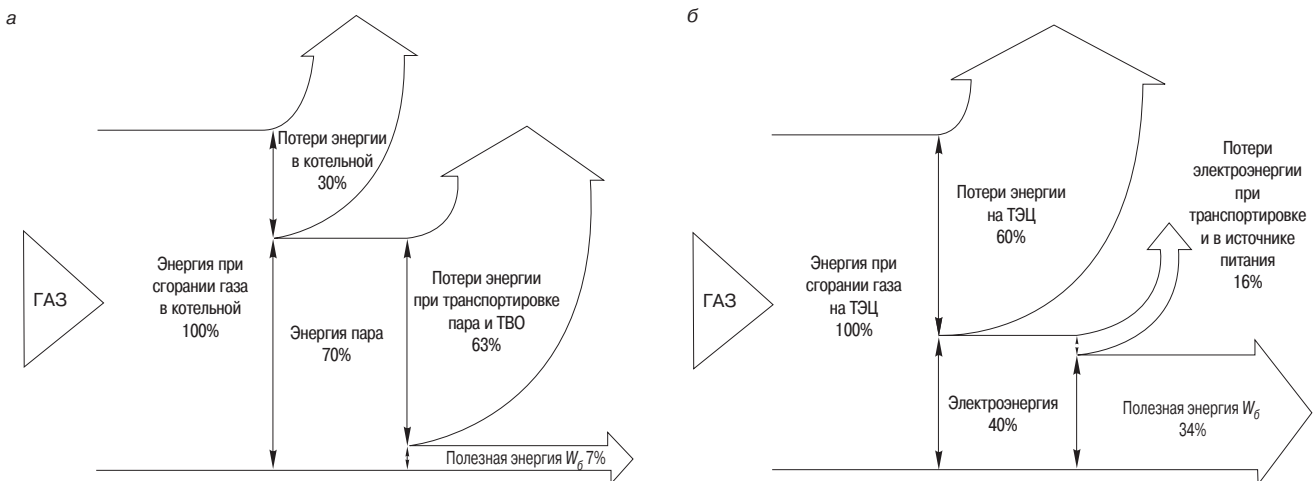


Рис. 8. Структура затрат энергии первичного энергоносителя (природного газа) при тепловой обработке бетона: а – ТВО; б – электротепловая обработка



Рис. 9. Структура производственной себестоимости изделий из бетона В20



Рис. 10. Структура технологической себестоимости

Окончательное решение о широком применении электротепловой обработки бетона может быть принято лишь при наличии экономической эффективности.

Важнейшей экономической задачей любого производственного процесса является снижение себестоимости продукции. На рис. 9 представлена структура производственной себестоимости железобетонных изделий из бетона классов В20. Основную ее долю (более 50 %) составляет стоимость исходных материалов, необходимых для получения бетона, что является характерным для строительной отрасли. В этом случае у предприятия существует реальная возможность повлиять только на две составляющие себестоимости – общецеховые, общезаводские расходы (1–2%) и технологическую себестоимость (15–16%).

Очевидно, что основные усилия необходимо прилагать к снижению технологической себестоимости, структура которой представлена на рис. 10. Основная ее часть складывается из энергетических составляющих: затрат на тепловую и электрическую энергию в приблизительно равных долях, которые в сумме составляют около 2/3 технологической себестоимости. Применение электротепловой обработки железобетонных изделий вместо традиционной ТВО паром оказывает влияние прежде всего на две составляющие технологической себестоимости: затраты на технологическую тепловую энергию – около 34% полностью исключаются и заменяются затратами на силовую (технологическую) электрическую энергию; снижаются издержки на амортизацию и обслуживание оборудования и помещений.

Выполненные исследования показали, что при использовании электротепловой обработки технологическая себестоимость снижается на 25% и добиться такого же уменьшения этого показателя другими способами практически невозможно.

По оценкам годовой экономии от снижения себестоимости и капиталовложений в переоснащение производства расчетный срок окупаемости капиталовложений при переходе на электротепловую обработку составляет около 7 мес, что многократно меньше нормативного показателя (8 лет).

Полученные параметры экономической эффективности не оставляют никаких сомнений в целесообразности применения электротепловой обработки взамен традиционных способов.

Для окончательного уяснения практического значения электротепловой обработки бетона целесообразно оценить последствия полного перехода на этот вид тепловой обработки в масштабах всего государства. В настоящее время годовое производство сборного железобетона в России составляет около 22 млн м³. Учитывая, что тепловой обработке подвергается прибли-

тельно 90% производимых изделий, переход на электротепловую обработку приведет к росту потребления электроэнергии в объеме около 1,2 млрд кВтч в год, что составляет примерно 0,12% годового производства электроэнергии в России (~1000 млрд кВт·ч в год). Даже без специального исследования можно сказать, что дополнительная выработка такого количества электроэнергии не составит проблем для отечественной электроэнергетики. С другой стороны, годовая экономия природного газа будет иметь величину приблизительно 1,8–2 млрд м³, что составляет около 2% газа, потребляемого промышленностью. Такого количества газа достаточно для приготовления пищи всему населению страны в течение 3 мес.

В заключение можно сделать вывод, что существует настоятельная необходимость и техническая возможность скорейшего и широкого применения на практике электротепловой обработки бетона и железобетонных изделий с использованием источников питания на основе полупроводниковых преобразователей напряжения. Для этого требуются объединенные усилия специалистов и организаций, а также участие со стороны государства.

Ключевые слова: электротепловая обработка бетона, токи различной частоты, источники питания большой мощности.

Список литературы

1. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звездова. М.: НИИЖБ, 2005. 275 с.
2. Розанов Ю.К. Полупроводниковые преобразователи со звеном повышенной частоты. Энергоатомиздат, 1987. 184 с.
3. Федосов С.В., Бобылев В.И., Митькин Ю.А., Соколов А.М. Исследование электропроводности бетона в процессе его отверждения при различной частоте приложенного напряжения // Строит. материалы. 2009. № 5. С. 51–53.
4. Федосов С.В., Бобылев В.И., Соколов А.М. Математическое моделирование температурно-временных зависимостей удельной проводимости бетонных смесей // Строит. материалы. 2009. № 9. С. 84–85.
5. Александров Г.Н., Соколов А.М. Использование электропередач ультравысокого напряжения для развития атомной электроэнергетики // Энергетик. 2008. № 10. С. 4–7.
6. Александров Г.Н., Соколов А.М., Закинчак Г.Н. Основы поступательного развития. О роли техники высоких напряжений в будущем благополучии электроэнергетики // Энергетик. 2010. № 1. С. 2–6.

УДК 553.6.002.5/66.074.2:666.6

Ю.В. КРАСОВИЦКИЙ, д-р техн. наук, Воронежская государственная технологическая академия (ВГТА); В.И. НИКОЛАЕВ, канд. эконом. наук, ОАО «Вагонреммаш»; Н.В. ПИГЛОВСКИЙ, ведущий инженер (piglovsky@vagon.vrn.ru), Воронежский вагоноремонтный завод (ВВРЗ); М.Н. ФЕДОРОВА, инженер-экономист, ОАО «Минудобрения» (г. Россошь, Воронежская обл.); Р.Ф. ГАЛИАХМЕТОВ, директор ООО «ПРИДОНХИМСТРОЙИЗВЕСТЬ» (г. Россошь, Воронежская обл.)

Инерционные пылеуловители в производстве строительных материалов

Инерционные пылеуловители отличаются простотой изготовления и эксплуатации и достаточно широко представлены в производстве строительных материалов. Однако эффективность пылеулавливания в таких аппаратах не удовлетворяет современным требованиям и поэтому инерционные и вихревые пылеуловители обычно используют в системах предварительной очистки газов.

Общее представление об эксплуатационных параметрах этих аппаратов дано в табл. 1 [1–3]. Данные, приведенные в табл. 1, позволяют провести сравнительный анализ пылеуловителей и оценить их возможности при использовании в производстве строительных материалов.

Принцип работы инерционных пылеуловителей состоит в том, что при резком изменении направления движения пылегазового потока частицы пыли под действием инерции двигаются в прежнем направлении и поэтому могут быть выделены из потока.

Резкое изменение направления движения пылегазового потока при столкновении с решеткой, состоящей из наклонных пластин, использовано в инерционном пылеуловителе жалюзийного типа, приведенном на рис. 1 [1]. Этот аппарат широко применяется для предварительной очистки газов. В нем около 90% объема газов

частично очищается от пыли при прохождении через жалюзи, а остальной пылегазовый поток поступает в циклон.

При повышении скорости подачи пылегазового потока к пластинам решетки степень улавливания пыли в жалюзийном пылеуловителе вначале быстро растет, но при скорости более 10 м/с этот рост замедляется. Обычно скорость газов в инерционном аппарате этого типа составляет 12–15 м/с.

На степень очистки влияет скорость движения газов, отсасываемых в циклон. Для того чтобы в циклон было отведено возможно больше пыли, эта скорость должна быть не меньше скорости газов при подходе к решетке. Гидравлическое сопротивление решетки составляет 100–500 Па. Обычно жалюзийные пылеуловители применяют для улавливания частиц пыли крупнее 20 мкм. Недостатком жалюзийного пылеуловителя является эрозионный износ пластин решетки при высокой концентрации пыли. При производстве строительных материалов и ряда ремонтно-механических работ весьма перспективны инерционные пылеуловители типа ПИ-10 [2]. Схема такого аппарата представлена на рис. 2.

Разделение пылегазового потока осуществляется в центробежном поле. Плавный вход и равномерное распределение потока на выходе обеспечивают, как показывают труды Научно-исследовательского института по охране труда при производстве строительных материалов (НИПИОТСТРОМ), достаточно высокую эффективность улавливания – до 92% для пылей со значением среднего медианного диаметра частиц $d_m \approx 10$ мкм.

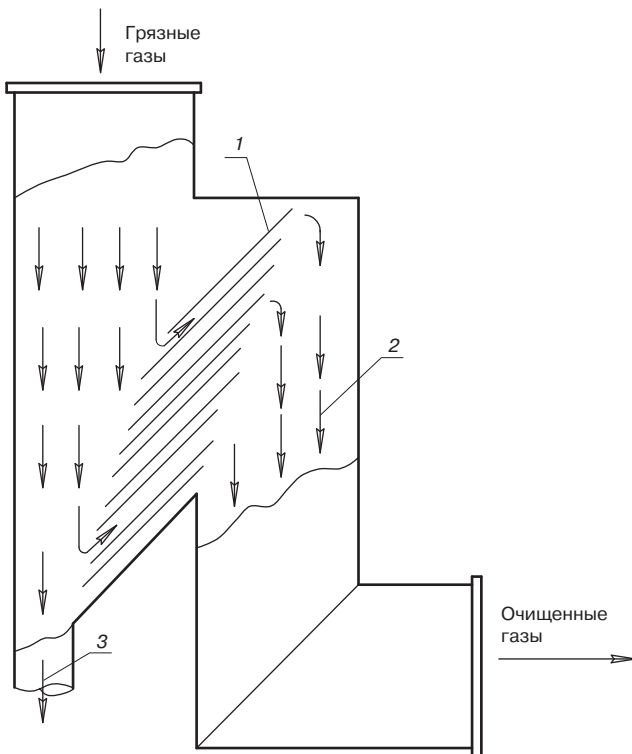


Рис. 1. Жалюзийный пылеуловитель с частичным отводом запыленного газового потока: 1 – жалюзийная решетка; 2 – очищенные газы (около 90 об. %); 3 – запыленные газы (около 10 об. %)

Таблица 1

Тип аппарата*	Максимальная производительность, м ³ /ч	Эффективность пылеулавливания частиц различных размеров	Гидравлическое сопротивление, Па	Верхний предел температуры газов, °С
Циклон	85.000	10 мкм (50–80%)	250–1500	350–550
Батарейный циклон	170.000	5 мкм (90%)	750–1550	600
Инерционный пылеуловитель	130.000	2 мкм (90%)	800–1400	450
Вихревой пылеуловитель	30.000	2 мкм (92%)	до 1800	300
Динамический пылеуловитель	45.000	2 мкм (90%)	–	400

*Параметры работы циклонов и динамических пылеуловителей, не являющихся предметом анализа в настоящей работе, приведены для сравнения.

Таблица 2

Параметры	Значение
Производительность по очищаемому газу, м ³ /ч	10000
Начальная массовая концентрация пыли, г/м ³	30–500
Эффективность очистки, %	65–92
Перепад давлений в аппарате, Па	до 510
Температура газа на выходе, °С	до 300
Габаритные размеры, м	1,17×1,16×1,8
Масса, кг	780

Аппарат вполне конкурентоспособен по сравнению с высокоэффективными циклонами типа ЦН, ЦП, ЦР, УЦ, СК, СДК, СКЦН Научно-исследовательского института по промышленной и санитарной очистке газа (НИИОГАЗ), однако обладает более низким гидравлическим сопротивлением и поэтому может быть с успехом использован в качестве первой ступени очистки дымовых газов и аспирационного воздуха. В табл. 2 приведена техническая характеристика этого аппарата.

При расчете гидравлического сопротивления аппарата нами использован принцип наложения потерь, при котором арифметическая сумма потерь отдельных элементов дает общее сопротивление аппарата $\Delta P_{\text{общ}}$.

При этом учитывается и взаимное влияние близко расположенных друг к другу элементов аппарата.

Принцип наложения потерь обычно реализуют одним из двух методов [5]:

1) сложением абсолютных значений гидравлического сопротивления отдельных элементов, используя формулу:

$$\Delta P_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (1)$$

где i – номер элемента аппарата; ΔP_i – суммарное сопротивление i -го элемента, определяемое по формуле:

$$\Delta P_i = \zeta_i \frac{\rho_i w_i^2}{2} = \zeta_i \frac{\rho_i}{2} \left(\frac{Q_i}{F_i} \right)^2, \quad (2)$$

где ζ_i – коэффициент сопротивления i -го элемента аппарата, приведенный к скорости w_i в сечении F_i этого элемента при расходе пылегазового потока Q_i ; ρ_i – плотность пылегазового потока в i -м элементе аппарата;

2) сложением приведенных предварительно к скорости w_0 при плотности газа ρ_0 в условном сечении F_0 коэффициентов сопротивления отдельных элементов и последующим выражением общего сопротивления аппарата $\Delta P_{\text{общ}}$ через его общий коэффициент сопротивления $\zeta_{\text{общ}}$, рассчитанный при скорости w_0 . Тогда:

$$\Delta P_{\text{общ}} = \zeta_{\text{общ}} \frac{\rho_0 w_0^2}{2} = \sum_{i=1}^n \zeta_i \left(\frac{\rho_0}{\rho_i} \right)^2 \left(\frac{F_0}{F_i} \right)^2 \frac{\rho_0}{2} \left(\frac{Q_0}{F_0} \right)^2. \quad (3)$$

Так как в процессе пылеулавливания температура газа обычно снижается, применяют первый метод наложения потерь – суммирование абсолютных потерь в отдельных элементах.

Выполненный расчет показал, что гидравлическое сопротивление пылеуловителя ПИ-10 составляет ≈ 340 Па, что вполне удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными и технической характеристикой аппарата. Направления оптимизации аэродинамических условий движения пылегазового потока в инерционных пылеуловителях типа ПИ-10 можно сформулировать следующим образом:

а) система жалюзи, установленная для сепарации пыли, не является оптимальной. Эффективность этой системы может быть повышена при использовании конструктивных решений, приведенных в [5];

б) конфигурация подводящей шахты должна быть выполнена без резких сужений, как это имеет место в существующей конструкции, и включать удлиненные разделительные стенки в сочетании с изогradientным криволинейным диффузором [6];

в) весьма высокая массовая концентрация пыли на входе в сочетании с полидисперсным характером аэрозоли позволяет рассчитывать на кинематическую коагуляцию частиц, количественные закономерности которой могут быть определены по [7]. Этот процесс может быть интенсифицирован аэрогидродинамическими и акустическими способами, что позволит существенно повысить эффективность пылеулавливания.

Ключевые слова: инерционные пылеуловители, поэлементный расчет, эффективность очистки.

Список литературы

1. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. М.: Химия. 1981, 390 с.
2. Каталог завершенных и перспективных разработок. НИПИОТСТРОМ Минстройматериалов СССР. Новороссийск, 1987. 64 с.
3. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник. М.: Металлургия, 1998. Ч. 1. 760 с.
4. Измоденов Ю.А., Пермигин Н.П. Каталог завершенных и перспективных разработок. Новороссийск: НИПИОТСТРОМ, 1987. 64 с.
5. Энтин В.И., Красовицкий Ю.В., Анжеуров Н.М., Болдырев А.М., Шраге Ф. Аэродинамические способы повышения эффективности систем и аппаратов пылеулавливания в производстве огнеупоров. Воронеж: Истоки, 1998. 362 с.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. 560 с.
7. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Наука, 1955. 352 с.

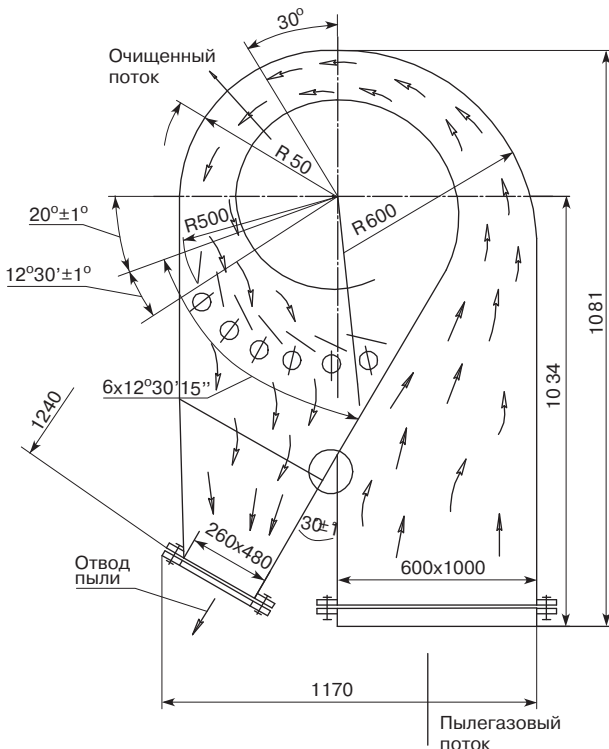


Рис. 2. Пылеуловитель инерционный ПИ-10 НИПИОТСТРОМ [4]

А.В. МОНАСТЫРЕВ, канд. техн. наук

Инновационные шахтные печи противоточно-прямоточного фильтрующего слоя

При производстве извести наиболее экономичными печными агрегатами по удельному расходу топлива и электроэнергии являются шахтные печи. Самые крупные шахтные печи в РФ и странах СНГ работают на предприятии содового производства. С 1975 по 1992 гг. на Крымском содовом заводе (Украина) работали спроектированные Союзгипростромом (Москва) четыре шахтные печи, отопливаемые коксом, производительностью до 450 т извести в сутки. Три шахтные печи Николаевского глиноземного завода (Украина), отопливаемые мазутом, переведенные в 2000 г. на природный газ по проекту ОАО «Липецкстальпроект», повысили производительность до 200 т/сут, оставаясь самыми крупными шахтными печами РФ и СНГ, работающими на природном газе [1, 2]. При обжиге чистого известняка фракции 40–80 мм получается известь с содержанием активных $\text{CaO} + \text{MgO} = 90\text{--}92\%$ при удельном расходе 145–152 кг условного топлива и электроэнергии 18 кВт·ч.

Ведущие фирмы США, Германии, Австрии в течение сорока лет занимаются разработкой и строительством шахтных газифицированных печей производительностью 300, 500, 600 т/сут извести высокого качества при удельном расходе 120–126 кг усл. топлива и 21–25 кВт·ч электроэнергии [1, 3]. Поэтому разработка и строительство эффективных газифицированных шахтных печей производительностью 300–600 т/сут остается главным направлением развития известкового производства в РФ на ближайшие годы.

В шахтных печах отечественной конструкции обжигается карбонатное сырье фракции 40–150 мм с получением извести, в связи с чем в отвалах карьеров скопились сотни миллионов тонн известняка фракции 0–40 мм, занимающие большие площади и ухудшающие состояние окружающей среды. В то же время отходы известняка фракции 0–40 мм являются дешевым сырьем для производства извести хорошего качества, так как сортировка отходов с выделением чистого известняка фракции 12–25 и 25–40 мм с последующим обжигом в недорогих шахтных печах отечественных конструкций производительностью 300 и более т извести в сутки позволит получить ежегодно сотни тысяч тонн недорогой высококачественной извести.

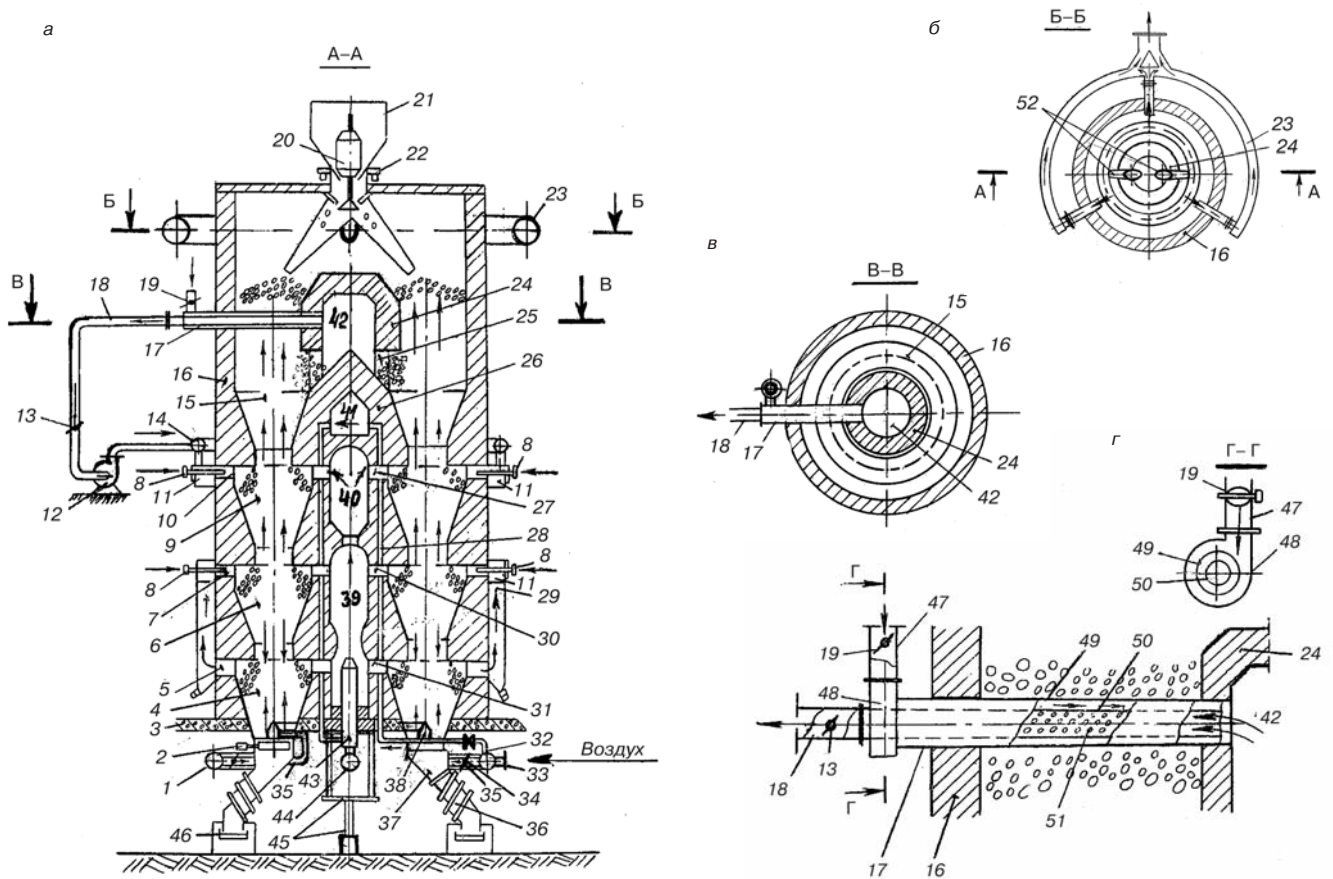
Печи предлагаемого типа [2] отличаются специфическим конструктивным исполнением, позволяющим в одной и той же печи (без ее реконструкции) устанавливать различные аэродинамические и температурные режимы, отвечающие условиям обжига чистого известняка данной фракции, например 80–40; 40–25; 25–12 мм.

Шахтная печь (рис. 1) состоит из вертикально установленной на плите 3 футерованной шахты 16; керамического керна 24, 26; механизма загрузки сырья 20, 21, 22; механизма выгрузки извести, включающего вибропитатели 2 и несколько течек извести 37, оборудованных

шлюзовыми затворами 36, кольцевого конвейера 46; расположенных в два яруса нескольких периферийных 11 и центрального, расположенного в керне, горелочных устройств, снабженных горелками (форсунками) 8, 43. В комплект печи входят вентилятор 12 горячего воздуха, вентилятор высокого давления (ВВД) атмосферного воздуха, дымосос и пылеосадительная установка. Вентиляторы, воздушовулка и дымосос снабжены асинхронными электродвигателями с частотными преобразователями тока, позволяющими плавно и в широком диапазоне изменять давление подаваемого воздуха.

С целью интенсификации процесса обжига футеровка шахты выполнена в виде расположенных одна над другой полостей 4, 6, 9, 15 (зон печи) трапециевидальной формы с уменьшающимся вниз поперечным сечением, сообщающихся между собой каналами. Расположенный соосно с шахтой керамический керн 26 наружной поверхностью соответствует в каждом поперечном сечении конфигурации стен футеровки шахты. Внутренняя полость керна разделена диафрагмой и стенками на полости 39, 40, 41, 42, причем полости 39 и 40 являются топочными, а полость 42 служит для отбора и очистки от крупнодисперсной пыли рециркуляционных печных газов, направляемых вентилятором 12 в топку 11 верхнего яруса. В связи с тем, что в верхней части зоны подогрева (до уровня отверстий 25 головки керна) материал подогревается только частью общего объема выходящих из зоны обжига газов, его поперечное сечение имеет такую площадь, чтобы скорость фильтрации газов в слое материала оставалась такой же величины, как и при полном расходе отходящих газов.

При обжиге чистого известняка, например фракции 80–40 мм или 40–25 мм, печь работает следующим образом. Из приемного бункера 21 через двухшлюзовый затвор механизма загрузки 20, 22 сырье с помощью поворотной точки 52 периодически загружается в кольцевое пространство верхней части зоны подогрева (полости 15), опускаясь в которой до уровня отверстий 25 головки керна 24, он нагревается до 300–350°C в противотоке частью выходящих из зоны обжига газов. Поэтому температура печных газов на выходе из зоны подогрева составляет 110–120°C. В конусной части зоны подогрева печи газы, находящиеся при температуре 1350–1400°C, омывают куски материала с возрастающей скоростью, подогревая их до 870–900°C. В этой части зоны подогрева в материале происходит полная декарбонизация MgCO_3 и на 40–45% CaCO_3 . В верхней части зоны обжига (полости 9) опускающийся в противотоке с газами материал продолжает интенсивно поглощать тепло находящегося при температуре 1200–1250°C потока газов, обеспечивающее его декарбонизацию на 90–95%. Известь, поступив в начало нижней части зоны обжига (полость 6) с температурой поверхности кусков 1150–1200°C, опускается либо в



Шахтная газифицированная противоточно-прямоточная печь производительностью 300 т/сут конструкции А.В. Монастырева: а – печь; б – отбор отходящих из печи газов; в – отбор печных газов из полости 42 керна; г – устройство короба отбора печных газов; 1 – коллектор холодного воздуха; 2 – вибропитатель; 3 – опорная плита; 4 – зона охлаждения извести; 5, 7, 10, 25, 27, 30, 31 – отверстия; 6 – нижняя (прямоточная) часть зоны обжига; 8, 11, 43 – горелочные устройства; 9 – верхняя (противоточная) часть зоны обжига; 12 – вентилятор; 13, 19, 34 – ПРЗ; 14 – коллектор горячего воздуха; 15 – зона подогрева материала; 16 – шахта; 17 – короб отбора печных газов; 18, 32, 35, 47 – воздухопровод; 20, 21, 22 – механизм загрузки с поворотной течкой; 23 – коллектор печных газов; 24 – верхняя часть керна; 26 – керамический kern; 28, 29 – кольцевые каналы первичного воздуха; 33 – патрубков; 36 – шлюзовой затвор; 37 – течка извести; 38 – кольцевой конус – распределитель атмосферного воздуха; 39, 40, 41, 42 – полости; 44 – газопровод; 45 – устройство крепления горелки (форсунки); 46 – кольцевой конвейер; 48 – улитка; 49 – труба; 50 – труба перфорированная; 51 – отверстия; 52 – поворотная течка сырья

прямотоке с газами, движущимися при температуре 1050–1000°C с незначительной скоростью, либо практически при их отсутствии. В обоих случаях процесс декарбонизации CaCO₃ в сердцевинах кусков извести происходит в основном за счет теплоты, накопленной их поверхностными слоями, поэтому температура поверхности кусков извести снижается до 900–850°C. На входе в зону охлаждения печи (полость 4) известь содержит активных CaO+MgO=91–92% при остаточном содержании CO₂=1,5–2,5%.

Опускаясь в противотоке с воздухом, куски извести интенсивно охлаждаются. На выходе из полости 4 их температура равна 80–90°C, затем вибропитателями 2 выгружается из зоны охлаждения печи в течки 37 и через шлюзовые затворы 36 поступает на кольцевой конвейер 46, транспортирующий известь в расходный бункер.

Атмосферный воздух под давлением 4–5 кПа подается вентилятором ВВД через патрубок 33 коллектора 1, трубопровод 35 и кольцевой конус – распределитель воздуха 38, расположенный в выходном кольцевом отверстии зоны охлаждения 4 выше вибропитателей 2, в зону охлаждения печи. Воздух, двигаясь в противотоке с известью, нагревается в зоне охлаждения 4 до температуры 600–700°C. На выходе из зоны охлаждения общий поток горячего воздуха разделяется на два потока, один из которых под разрежением через отверстия 5 и кольцевой канал 29 поступает в периферийные горелочные устройства 11 нижнего яруса, где участвует в

сжигании топлива, поступающего через горелки (форсунки) 8 с коэффициентом расхода воздуха $\alpha \geq 1,5$. Другая часть потока горячего воздуха, инжектируемая горелочным устройством 43 через отверстия 31 в полость 39 керна, сгорает в вихревом потоке при $\alpha \geq 1,5$ и через отверстия 30 поступает в верхнюю часть полости 6, где соединяется с продуктами горения топлива в топках 11 в общий поток газов, поднимающихся в полость 9. В горелочном устройстве 43 в качестве первичного используется воздух, подогретый в полости 28 до температуры 200°C. В связи с высокой температурой воздуха продукты горения топлива на выходе из топочных камер имеют температуру 1100–1150°C при незначительном расходе топлива.

Основная часть топлива сжигается в периферийных топочных устройствах 11 верхнего яруса, используя нагнетаемую вентилятором 12 подогретую до температуры 450–500°C смесь газов, содержащую 11–13% O₂. Сжигание топлива происходит при $\alpha=0,5–0,7$, поэтому продукты его неполного сгорания выходят в верхнюю часть зоны обжига (полость 9) при температуре 1200–1250°C. В пережиге полости 15 продукты неполного сгорания топлива смешиваются с выходящими через отверстия 27 из полости 40 продуктами полного сгорания топлива при $\alpha \geq 1,5$ и печными газами, поднимающимися из пережиге зоны 9, также содержащими избыточный кислород. В результате смешивания трех потоков газов происходит догорание горючих газов (H₂ и CO) с увеличе-

нием температуры печных газов на выходе из пережима зоны подогрева до 1350–1400°C.

Короб 17 представляет собой смесительный теплообменник, состоящий из расположенных одна в другой труб 49 и 50, приваренных к улитке 48. Один конец короба 17 фланцами соединен с трубами 18 и 47, второй закреплен в стенке керна 24. Атмосферный воздух, минуя заслонку ПРЗ, под разрежением, создаваемым вентилятором 12, поступает в межтрубное пространство короба 17 и через отверстия 51 трубы 50 поступает в нее, где смешивается с печными газами. В связи с тем, что диаметр отверстий трубы 51 увеличивается в сторону керна 24, основная масса воздуха проходит трубу 49, интенсивно охлаждая ее от перегрева.

Прошедшие часть зоны подогрева печные газы поступают с температурой 650–700°C в полость 42, где в закрученном потоке из них выделяется крупнодисперсная пыль. Из полости 42 печные газы отбираются вентилятором 12 в трубу 50 и, перемещаясь по ней, смешиваются с поступающим из трубы 49 воздухом. При этом содержание кислорода в смеси газов увеличивается до 11–13%, а температура снижается до 400–450°C.

В связи с использованием для сжигания топлива воздуха, нагретого до высокой температуры, и невысокой температуры отходящих газов проектный расход условного топлива в печи составляет 129–131 кг на 1 т извести с содержанием активных $\text{CaO} + \text{MgO} = 85\text{--}92\%$; удельный расход электроэнергии 18 кВт·ч.

Предлагаемая шахтная печь при обжиге мытого известняка имеет ТЭП, равные с кольцевой печью К. Беккенбаха (Германия), но ее строительство намного дешевле, печь проще по конструкции и при эксплуатации, в связи с чем рекомендуется для строительства при производительности 300 т/сут и выше.

Новые возможности создания недорогих, надежных и экономичных в эксплуатации шахтных печей большой производительности открываются при использовании уникальных жаростойких особо легких ячеистых бетонов, огнеупорного кирпича, растворов и покрытий, приготовленных на основе технологии СВС – самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, разработанной ЗАО НПКФ «МаВР» (г. Жуковский Московской обл.). Эти материалы и растворы прошли испытания в космических аппаратах и начинают применяться в цементной, металлургической, химической промышленности. Смеси нетоксичны и представляют собой мелкодисперсные композиционные порошки из минеральных компонентов [4].

Ключевые слова: шахтные печи для получения извести, обжиг извести.

Список литературы

1. *Монастырев А.В.* Основные направления технического прогресса при производстве извести в СССР и за рубежом. Сер. 8. Вып. 1. М.: ВНИИЭСМ, 1989. 94 с.
2. *Монастырев А.В.* Печь для обжига сыпучего материала. А. с. 425030 СССР // Б.И. 1974. № 15.
3. *Монастырев А.В.* Критерии выбора современной шахтной печи при реконструкции или создании нового известкового производства // Строит. материалы. 2008. № 11. С. 18–23.
4. *Владимиров В.С., Мойзис С.Е. и др.* Новые огнеупорные и теплоизоляционные материалы и технологии их производства // Новые огнеупоры. 2002. № 1. С. 81–88.



Активатор
измельчение активация синтез

Российские промышленные эллиптические шаровые мельницы "Активатор" интенсивного помола.

	Activator-C100	Activator-C500	Activator-C1000	Activator-C5000
произв-сть	100 кг/ч	500 кг/ч	1000 кг/ч	5000 кг/ч
тонина помола	1-3 мкм	4-7 мкм	20-50 мкм	50-70 мкм
потребляемая мощность	5,5 кВт/ч	11 кВт/ч	30 кВт/ч	75 кВт/ч
габариты, мм	1020×570×1230	1122×750×1500	1710×925×1815	2850×1700×2950

Результаты активации цемента и помола материалов - на нашем сайте.

• Все мельницы проходят испытания на Вашем материале, а дисперсный состав помолотых порошков тестируется в лаборатории.

Мельницы "Активатор" производятся только по оригинальным чертежам разработчика и защищены Патентами РФ №18501, №33037 на полезные модели. Патентообладатель: ЗАО "Активатор".

[>>](http://www.activator.ru)

Новосибирск, Софийская 18, оф 107
630056, Новосибирск 56, а/я 141
Факс: 8 (383) 325-18-49
Тел: 8 913 942 94 81
e-mail: belyaev@activator.ru



подготовка шихты для керамической плитки

помол пигментов

получение сухих смесей

активация цемента

смешение компонентов пенобетона

Реклама

Специальная модификация для суперустойчивости к сползанию

гидроксиэтилцеллюлоза
гидроксипропилметилцеллюлоза

гидроксиэтилметилцеллюлоза
метилцеллюлоза
карбоксиметилцеллюлоза

HEC

MP

MAT

ME

MET

MC



РОССИЯ

УКРАИНА

БЕЛАРУСЬ

КАЗАХСТАН

Штукатурка гипсовая
ручная, машинная

Адгезивы
цементные

Клеи для фасадного утепления

Новые марки MAT, MET:

- улучшенное открытое время - до 35 мин.,
- стойкость к сползанию для тяжелой плитки,
- использование при высокой и низкой температуре

ETC

Группа компаний
«Единая Торговая Система»

Тел. +7 812 703 103 5

www.utsrus.com

XV Академические чтения РААСН



14–17 апреля 2010 г. в Казанском государственном архитектурно-строительном университете состоялась XV Академические чтения Российской академии архитектуры и строительных наук – международная научно-техническая конференция «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии». Мероприятие организовано при поддержке Министерства образования и науки РФ; Кабинета министров Республики Татарстан; Министерства образования и науки РТ; Академии наук РТ; Министерства строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства РТ; Московского государственного строительного университета; Центрального научно-исследовательского института геологии нерудных полезных ископаемых. В мероприятиях XV Академических чтений РААСН приняли участие более 270 человек: представители образовательных и научных учреждений, а также сотрудники предприятий и организаций строительной индустрии из России, Украины, Чехии, Армении, Узбекистана и Турции. Всего в мероприятиях конференции приняли участие 5 академиков РААСН, 4 член-корреспондента РААСН, 12 советников РААСН, 50 докторов наук, 80 кандидатов наук, а также аспиранты, магистры, студенты.



Ректор КазГАСУ д-р техн. наук Р.К. Низамов



Зам. министра строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Республики Татарстан, ген. директор ГУП «Татинвестгражданпроект», канд. эконом. наук И.Э. Файзуллин



Член-корр. РААСН, д-р техн. наук Р.В. Рахимов

Открыл пленарное заседание ректор КазГАСУ д-р техн. наук **Р.К. Низамов**. Он рассказал о перспективах развития университета и основных направлениях научно-исследовательской деятельности сотрудников и студентов КазГАСУ. С докладом о строительстве объектов Универсиады-2013 выступил зам. министра архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Татарстан, ген. директор ГУП «Татинвестгражданпроект» канд. эконом. наук **И.Э. Файзуллин**, который обратил внимание участников XV Академических чтений РААСН на высокие темпы строительства спортивных объектов. Для проведения Универсиады в 2013 г. планируется построить 64 спортивных объекта: 36 объектов нового строительства, 28 объектов подлежат реконструкции. В 2009 г. начато строительство Деревни Универсиады и 29 спортивных объектов. Академик **Ю.М. Баженов**, недавно отметивший 80-летие, обратил внимание на необходимость модернизации промышленности строительных материалов за счет внедрения инновационных технологий производства строительных материалов.

С докладом о проблемах развития исследований и разработок в области строительного материаловедения и высоких строительных технологий выступил академик **Е.М. Чернышов**. Он выделил актуальные положения подготовленного членами РААСН и специалистами отрасли *прогноза исследований в области строительного материаловедения до 2030 г.*, включающего значимые фундаментальные исследования с соответствующей интервальной дифференциацией по годам. Первое: *разработка материалов нового поколения*, так называемых экстрим-материалов (сверхплотных и высокопрочных, ультрапористых высокотеплоэффективных, особо коррозионно-стойких и т. д.), обоснованная все более экстремальными условиями эксплуатации зданий и сооружений. Второе: в области строительного материаловедения накоплены принципиальные данные и имеются достижения, которые могли бы при соответствующем развитии академических исследований составить *основы теории структуры строительных композитов*, чему может способствовать интегрирование специального знания (по строительному материаловедению) с фундаментальными знаниями в области физики и химии твердого состояния, физико-химической механики, механики структурированных систем, механики разрушения и прочности, термофлуктуационной теории разрушения, материаловедения конструкционных и функциональных композитов. Третье: *развитие теории структурообразования и модифицирования структур строительных композитов*. Вопросы формирования твердого состояния, создания системы структурных связей, учета явлений синергизма и самоорганизации и т. д. должны рассматриваться в контексте с реализацией возможностей нанотехнологий. Евгений Михайлович подчеркнул, что в развитии нанотехнологических исследований важно воспринимать нанотехнологическую парадигму как этап эволюции материаловедческого и технологического знания. Четвертое: *проблемы механики конструкционных и функциональных свойств строительных материалов*. Особенно важным для решения этой проблемы является развитие технологической механики материалов (с позиций

материаловедов-технологов в единстве с конструкционной механикой с позиций расчетчиков и проектировщиков). Пятое: *развитие теории синтеза и теории конструирования оптимальных структур материалов*. Эта проблема соотносится с математическим моделированием; разработкой алгоритмов и программ; информационными технологиями в задачах компьютерного материаловедения; оптимизацией переменных структур строительных композитов. Шестое: *строительно-технологическая утилизация техногенных отходов*. Евгений Михайлович отметил, что отделение строительных наук РААСН должно разработать каталог-справочник по материалам на основе техногенных отходов с соответствующим регламентом их получения по единой методике представления научно-прикладных разработок. Было предложено совершенствовать учебные планы и рабочие программы подготовки кадров для строительной отрасли на основе эффективного использования новых знаний и достижений. Он подчеркнул, что содержание передаваемых знаний нередко отстает от современных научно-прикладных достижений. Поэтому РААСН необходимо взять на себя задачу формирования дидактических блоков для вузов архитектурно-строительного профиля.

На пленарном заседании заслушаны доклады д-ра техн. наук **В.Г. Хозина** «Роль и место полимеров в современном строительстве»; директора ФГУП «ЦНИИГЕОЛНЕРУД» д-ра геол.-минер. наук **Е.М. Аксенова** «О нерешенных проблемах масштабного использования техногенных месторождений для производства строительных материалов».

К 55-летию журнала «Строительные материалы»® главным редактором Е.И. Юмашевой был подготовлен доклад «Отраслевая научно-техническая периодика как инструмент продвижения результатов научной деятельности», с которым по ее поручению выступила научный редактор канд. техн. наук Л.В. Сапачева.

Было отмечено, что журнал «Строительные материалы»® был создан как официальный печатный орган Министерства промышленности строительных материалов СССР и до настоящего времени остается неотъемлемой частью отрасли.

В 2002 г. Федеральный институт промышленной собственности присвоил товарный знак журналу «Строительные материалы»®, который является выражением признания высокой ценности научной, технической и экономической информации, сконцентрированной на страницах журнала и публикуемой в лучших традициях издательской культуры.

Журнал всегда поддерживал тесное сотрудничество с отраслевыми научно-исследовательскими институтами и вузами. Многие работы отечественных ученых были внедрены и получили широкое признание, в том числе благодаря публикациям в журнале «Строительные материалы»®. В годы социально-экономических преобразований редакция внедрила новые издательские технологии, сайт журнала в сети Интернет появился одним из первых среди научно-технических изданий. Благодаря высокой информационной активности журнал по-прежнему востребован промышленностью и этим привлекателен для рекламодателей и специалистов, заинтересованных в продвижении своих работ.

Также одним из первых среди коллег журнал включился в работу по проекту создания Российского индекса научного цитирования, которая была начата в 2008 г. В 2009 г. журнал имел самый высокий



Академики РААСН, доктора техн. наук Е.М. Чернышов и Ю.М. Баженов



Вице-президент отделения строительных наук РААСН д-р техн. наук В.И. Травуш и академик-секретарь отделения строительных наук РААСН д-р техн. наук Н.И. Карпенко



Д-р техн. наук В.Г. Хозин



Выступление научного редактора издательства «Стройматериалы» канд. техн. наук Л.В. Сапачевой



Член-корр. РААСН д-р техн. наук А.М. Сулейманов



Д-р техн. наук Л.А. Абдрахманова



Д-р техн. наук Л.А. Урханова и д-р техн. наук И.В. Недосеко



Д-р техн. наук В.И. Калашников в лаборатории КазГАСУ



Академик РААСН У.Х. Магдеев и д-р техн. наук А.П. Пичугин

импакт-фактор среди журналов, рекомендованных экспертным советом ВАК по строительству и архитектуре – 0,212.

Высокий статус журнала «Строительные материалы»® подтверждается тем фактом, что он включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук **по достаточному критерию - входит в международную информационную системы SCOPUS.**

С октября 2010 г. в издательстве «Стройматериалы» издается журнал, имеющий 50-летнюю историю, – «Жилищное строительство» (импакт-фактор РИНЦ – 0,103).

Научно-технические периодические издания являются главным источником научной информации для широкого круга специалистов; важнейшим инструментом продвижения результатов научной деятельности; связующим информационным звеном между отраслевой наукой и практикой; открытым информационным пространством для научной полемики; свободной трибуной для представления самых смелых научных и технических идей; энциклопедией отрасли; хроникой развития промышленности. Именно научно-технические издания позволяют проследить развитие того или иного направления научных исследований, становления ученого, научной школы, университета.

В рамках XV Академических чтений прошли **мастер-классы** ведущих ученых в области строительного материаловедения и строительных конструкций: академика РААСН, д-ра техн.наук, **Ю.М. Баженова**; академика РААСН, д-ра техн. наук **Е.М. Чернышова**; вице-президента отделения строительных наук РААСН д-ра техн. наук **В.И. Травуша**; академика-секретаря отделения строительных наук РААСН д-ра техн. наук **Н.И. Карпенко**.

Всего на конференции заслушано 94 доклада на секциях: «Клинкерные вяжущие вещества и наполнители», «Бесклинкерные вяжущие вещества», «Механика материалов и компьютерное моделирование», «Теплофизика и долговечность материалов», «Добавки в бетоны», «Бетонovedение и технология бетонов», «Керамические материалы», «Природные и техногенные сырьевые ресурсы», «Модернизация техники и технологий».

Впервые были выделены секции «Строительные материалы с применением полимеров» и «Наноматериалы и нанотехнологии в строительстве». По результатам работы этих секций принято решение, в котором сделан акцент на расширение исследований в области физико-химической и физической модификации, в том числе наномодификации базовых полимеров с целью создания технологических основ увеличения марочного ассортимента полимерных материалов и расширения возможностей их применения в строительстве.

В творческой и дружеской атмосфере впервые в рамках столь значимого мероприятия проведен конкурс молодых ученых, который собрал 38 участников и проходил в виде стендовой сессии. В номинации «Молодые ученые» (до 35 лет) I место присуждено И.А. Старовойтовой (КазГАСУ); II место – Д.Г. Сагдатуллину (КазГАСУ); в номинации «Аспиранты»: I место – М.И. Якупову (КазГАСУ); II место – И.С. Маевой (ИжГТУ) и Д.А. Аюпову (КазГАСУ); III место – А.Х. Ашрапову (КазГАСУ), С.А. Терешину (КГТУ–КХТИ), Р.А. Мухаметрахимову (КазГАСУ), Г.А. Фатыхову (КазГАСУ) и Д.А. Куколевой (КазГАСУ); в номинации «Магистры и студенты»: I место – И.Ф. Нагаеву (КазГАСУ), II–III места – А.А. Лушниковой (ИжГТУ) и А.Р. Багаутдинову (КазГАСУ).

Участники XV Академических чтений отметили проблемы развития строительного материаловедения и модернизации строительной индустрии: недостаточное финансирование строительной науки, включая строительное материаловедение; отсутствие тематики строительной науки и строительного материаловедения в перечнях критических технологий и приоритетных направлений развития науки, техники и технологий в РФ; необходимость повышения уровня отечественного развития машиностроительной базы технологического, испытательного и аналитического оборудования и приборов для строительной индустрии и обеспеченности современной лабораторной испытательной аналитической техникой вузов и других исследовательских организаций, что ведет к нарастающей технической и технологической зависимости от иностранных разработчиков и импорту техники и технологий и ряд других.

*Л.В. Сапачева,
канд. техн. наук*

Рациональное использование сырья карбонатных месторождений

Одним из основных видов минерального сырья, используемого для производства строительных материалов, являются карбонатные породы. Из этих пород производится разнообразная продукция: нерудные строительные материалы, цемент, известняковая и доломитовая мука для сельского хозяйства, минеральный порошок для асфальтобетона, заполнитель для сухих строительных смесей, наполнитель для мягкой кровли, а также водяные фильтры, продукты для подкормки животных. Карбонатные породы используются также в пищевой, металлургической, химической, электротехнической и других отраслях промышленности. Только для производства нерудных строительных материалов (НСМ) – самого массового потребителя карбонатных пород – в России ежегодно добывается примерно 150 млн т известняков, доломитов и мергелей. На отдельных карьерах организовано комплексное использование минеральных ресурсов (табл. 1). Но такие примеры сравнительно редки и не характеризуют положение в промышленности в целом.

Карбонатные месторождения сложены серией пластов пород, различающихся по прочности, минералогическому и химическому составу. Толща многих месторождений содержит прослойки и линзы, обычно состоящие из глин и песков. Верхние горизонты могут быть прорезаны карстовыми полостями (табл. 2). Эти особенности карбонатных месторождений требуют применения более сложных технологий добычи и переработки, а также являются одной из причин потерь минерального сырья. Увеличить объем сырья, используемого для производства продукции и уменьшить объем потерь на

карьерах, производящих щебень, можно различными способами. Наиболее существенные:

1. Селективная выемка разнородных пород;
2. Сокращение выхода отсевов дробления;

3. Использование карбонатных пород для выпуска дополнительных видов продукции, в соответствии с характеристиками отдельных пластов полезного ископаемого.

Когда при разработке массива разнородных пород применяются традиционные технологии добычи с взрывной подготовкой и валовой выемкой, разнородные породы перемешиваются. Чтобы получить горную массу с заданными характеристиками, без разубоживания применяют селективные способы разработки. Накоплен значительный опыт селективной разработки разнородных пород. На отечественных карьерах, разрабатывающих карбонатные месторождения, внедрены технологии, которые основаны на использовании рыхлителей и гидромолотов. В последние десятилетия на карьерах во всем мире получают распространение технологии послонной выемки при помощи горных (фрезерных) комбайнов. Достоинства таких технологий известны.

С целью уточнения параметров новой технологии на Ново-Пятовском месторождении в течение 4 мес. проходили испытания фрезерного комбайна Виртген 2200СМ. Предварительные испытания потребовались, поскольку было необходимо получить данные о работе комбайна, которые для других горных отраслей не имели принципиального значения и по этой причине не определялись. В результате опытно-промышленных экспериментов установлено:

Таблица 1

Предприятие	Полезное ископаемое	Основная продукция	Дополнительная продукция
Полотнянозаводское к/у (Калужская обл.)	Известняк	Щебень	Декоративный камень
Веневское к/у (Тульская обл.)	Известняк	Щебень	Флюсы, материал для известкования кислых почв
Пронское к/у (Рязанская обл.)	Известняк	Щебень	Мука для известкования кислых почв, минеральный порошок для асфальтобетона
ОАО «Доломит» (Витебская обл.)	Доломит	Доломитовая мука	Щебень
Афанасьевский карьер цемсырья, Московская обл.	Мергель, доломит, известняк	Цемсырье (мергель и известняк)	Мука для известкования кислых почв
Горенское к/у (Рязанская обл.)	Известняк	Щебень	Цемсырье
Цементный завод «Большевик» (Саратовская обл.)	Опока, мел, глина	Цемсырье	Используются для приготовления шихты три вида сырья
Цементный завод «Красный Октябрь» (Саратовская обл.)	Мел, суглинок, опока, глина	Цемсырье	Используются для приготовления шихты 4 вида сырья
Гуровский карьер (Тульская обл.)	Известняк, глина	Щебень	Сырье для производства керамзита
Ковровское к/у (Владимирская обл.)	Известняк	Щебень	Мука для известкования кислых почв, полировальная известь, стекольный доломит
Пятовское к/у (Калужская обл.)	Известняк	Щебень	Мука известняковая, минеральный порошок

Таблица 2

Месторождение	Состав вскрышных пород, их мощность (Н), м	Состав полезного ископаемого
Горенское к/у, Серебрянское месторождение	Покровные суглинки 3,5, моренные суглинки 3, пески 6 и др. породы. Н = 11–34, ср. 20	Известняки прочностью 31–96 МПа, щебенисто-глинистые прослои 0,5–2 м, объем 5%
Полотнянозавадское к/у и одноименное месторождение	Плотные глины, песчанистые глины, суглинки четвертичные. Н = 0,3–5,8, ср. 2,2.	Известняки прочностью 48–120 МПа, прослои глинисто-песчанистых пород, песков, глин
Веневское к/у, Гурьевское месторождение	Суглинки, глины, пески. Н = 6,5–38, ср. 19	Известняки прочностью 20–80 МПа

1. Выход фракции менее 5 мм не превышает 19% (то есть меньше, чем при взрывных работах и дроблении на ДСЗ) и при увеличении скорости движения комбайна снижается;

2. Размер осколков как правило не выходит за пределы 250–300 мм, что позволяет отказаться от первой стадии дробления, а в ряде случаев и от второй стадии. Затраты на первичное дробление составляют как минимум 1/3 от общих затрат на производство щебня на ДСЗ.

Таким образом была подтверждена принципиальная возможность применения фрезерных комбайнов для селективной выемки карбонатных пород различной прочности. Было также установлено, что технологии, основанные на применении фрезерных комбайнов, позволяют уменьшить образование фракций породы менее 5 мм. Однако были выявлены и негативные моменты. Так, при разработке карбонатных пород повышенной влажности происходит залипание рабочих поверхностей оборудования ДСЗ. Кроме того, забивается промежуток между резцами фрезерного барабана [1].

Сокращение выхода фракций размером менее 5 мм имеет принципиальное значение, поскольку сбыт этого вида материалов ограничен. Такие фракции образуются при взрывных работах и при дроблении пород (отсевы дробления). По данным С.Н. Азовцева, при взрывании неоднородных карбонатных пород объем мелких фракций составляет 10–12%. Отсевы дробления проходят все процессы добычи и переработки горной массы. Причем затраты на их производство превышают затраты на выпуск щебня, поскольку после завершения процессов переработки отсева дробления, не находящие сбыта, должны перемещаться в отвал. По оценкам ФГУП «ВНИПИИстромсырье», отгружается потребителям примерно 20% вырабатываемых отсевов дробления (в отчетности Росстата этот вид продукции обозначается позицией материалы из отсевов дробления). Доля отсевов дробления, которые образуются на карьерах, производящих щебень, достигает 25% и более. Таким образом за год в отвалы поступают десятки миллионов тонн отсевов дробления. Находящиеся в отвалах отсева дробления теряют свои полезные свойства.

Материал из отсевов дробления, который по своим свойствам часто относят к дробленым песком, очень де-

шев и имеет спрос. Однако, как следует из данных табл. 3, доля его потребления невелика и в течение многих лет колеблется в незначительном диапазоне. Причина – высокие издержки на перевозку железнодорожным транспортом, вследствие чего стоимость материала на месте потребления возрастает в разы и его использование становится нерентабельным. Введение льготного тарифа на железнодорожные перевозки этого вида продукции позволило бы решить не только экономические, но и экологические вопросы, поскольку отвалы отсевов дробления занимают значительные территории, а из-за процессов выветривания частицы породы засоряют окружающие территории, находящиеся в радиусе сотен метров от отвалов. Однако решать эту важную проблему правительственные структуры не собираются.

Поскольку затраты, связанные с образованием отсевов дробления, велики, необходимо находить решения по выпуску на основе отсевов дробления дополнительной продукции. То есть благодаря более глубокой переработке горой массы повысить эффективность работы предприятия.

Традиционное направление использования фракции 0–5 мм – производство известняковой муки для сельского хозяйства (раскисление почв) и минерального порошка для асфальтобетона. Несмотря на трудности переживаемого периода, ОАО «Пятовское карьероуправление» весной 2010 г. вводит в эксплуатацию новую технологическую линию по выпуску двух видов продукции: известняковой муки и минерального порошка для асфальтобетона проектной мощностью 120 тыс. т/год. Выпуск того или иного вида продукции определяется спросом в конкретный период времени и не потребует значительной переналадки технологии. Заканчивается строительство еще нескольких технологических линий на других карьерах для выпуска из отсевов дробления аналогичной продукции. Однако минеральный порошок для дорожного строительства остается у строителей автодорог дефицитной продукцией.

Как одно из перспективных направлений использования отсевов дробления следует рассматривать изготовление готовых изделий. Примером может служить изготовление строительных блоков из неавтоклавнога газо-

Таблица 3

Продукция	Год									
	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
Нерудные строительные материалы, млн м ³	236	190	197	192	211	231	270	318	392	
В том числе материалы из отсевов дробления, млн м ³	6,6	6,7	7,2	7,6	8,4	9,4	10,7	10,3	13,8	
Доля материалов из отсевов дробления в общем объеме производства НСМ, % *	2,8	3,3	3,6	4	4	3,5	4	3,2	3,5	
Мука для сельского хозяйства, млн т	3,5	1,9	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	–	–	
Процент от общего объема производства НСМ*	1,5	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	–	–	

* Материалы из отсевов дробления учитываются Росстатом в составе НСМ, а мука для сельского хозяйства проходит отдельной позицией.

бетона. В затратах на изготовление 1 м³ изделий из газобетона стоимость одного из основных компонентов — минерального известнякового порошка — составляет 44%. Если заменить привозной минеральный порошок местным, стоимость которого в два с лишним раза ниже, себестоимость изделий из газобетона снизится на 24,5%.

Карбонатные породы многих месторождений, как указывалось в табл. 1, неоднородны и содержат некондиционные для такой продукции как щебень включения, в частности, породы прочностью менее 20 МПа. По этой причине в процессе переработки сырья некондиционные включения выделяются и становятся отходами обогащения. При производстве щебня из скальных пород доля отходов обогащения составляет в среднем 20%. На многих карбонатных карьерах объем потерь, включающих отсеvy дробления и отходы обогащения, превышает половину добытого минерального сырья. Отходы обогащения являются также весьма значимым видом отходов, образующихся при переработке карбонатных пород с целью производства щебня. Этот вид отходов также может находить различных потребителей. Например, при соответствующем химическом составе использоваться в качестве цементного сырья. Причем в этом случае можно отметить противоположность требований к характеристикам сырья и результатам переработки. Если для производства щебня ценность сырья определяется прочностью породы, а при всех процессах добычи и переработки стремятся сократить выход фракций менее 5 мм, то для цементного сырья все выглядит наоборот.

Необходимо рассматривать также вопрос о создании техногенных месторождений из потенциальных полезных ископаемых, содержащихся во вскрышных породах. Для карбонатных месторождений вскрышные породы обычно сложены глинами и суглинками, которые являются керамическим сырьем, а также песками с различным модулем крупности (табл. 2). Решение вопросов о комплексном освоении месторождений постоянно будируется специалистами [2]. Однако далеко от практического решения.

Действующее законодательство о недропользовании не нацеливает недропользователей на создание из отсеvов дробления и отходов обогащения отдельные отвалы, которые можно представить как техногенные месторождения. Вследствие чего важный минеральный ресурс в большинстве случаев безвозвратно теряется. Создание техногенных месторождений минерального сырья для производства строительных материалов особенно важно для густонаселенных районов страны, на территории которых запасы минерального сырья для производства НСМ истощились. Однако этот вопрос не проработан также ни в техническом, ни в законодательном плане. Не выполняются работы по выбору конструкций складов, обеспечивающих сохранность объема и свойств техногенного сырья от выветривания. Нет данных о потерях сырья в зависимости от параметров штабеля и сроков хранения потенциального минерального ресурса. По мнению автора, образование техногенных месторождений должно находиться под контролем геологических структур и после окончания формирования ставиться на баланс.

Приходится констатировать, что государственная политика в области недропользования не стимулирует комплексное использование минеральных ресурсов, сокращение потерь полезного ископаемого, вовлечение в производство отходов (вторичных минеральных ресурсов). Чтобы изменять ситуацию, необходимо совершенствовать законодательство о недропользовании.

Действующее законодательство РФ в сфере недропользования в недостаточной степени учитывает специфику производства горных работ, особенно на мес-




торожениях общераспространенных полезных ископаемых, затрудняет оформление документов. В нормативных и законодательных документах практически отсутствует даже упоминание о техногенных месторождениях.

Эти и другие важнейшие для горняков вопросы могут быть решены при принятии Горного Кодекса. Горный Кодекс в качестве основополагающего документа о недропользовании должен включать свод законов прямого действия. Его положения должны согласовываться с Лесным, Водным и Земельным кодексами, а также другими документами, регламентирующими условия освоения недр. Положения Горного Кодекса должны ориентировать на комплексное освоение как минеральных, так и образуемых в процессе ведения горных работ техногенных ресурсов. Наличие Горного Кодекса, положения которого не должны противоречить иным законодательным и нормативным документам, значительно упростит и ускорит порядок получения разрешительных документов, устранил произвол и связанные с ним негативные проявления.

Ключевые слова: карбонатное сырье, фрезерный комбайн, недропользование, Горный Кодекс.

Список литературы:

1. Журавлев А.А. Перспективы применения фрезерных комбайнов для разработки карбонатных пород, используемых для производства щебня // Строит. материалы. 2009. № 10. С. 66–68.
2. Трубецкой К.Н. Развитие науки, техники и технологии в области комплексного освоения месторождений при открытом способе разработки // Горный журнал. 2009. № 11. С. 4–7.

Российское научно-техническое общество строителей
Ассоциация «Недра»
Московский государственный горный университет

XIV международная конференция
«Технология, оборудование и сырьевая база
горных предприятий промышленности
строительных материалов»

8–10 сентября 2010 г. **Москва**

Тематика конференции

- ◆ горная отрасль промышленности строительных материалов в период кризиса
- ◆ минеральные и альтернативные виды сырья для производства строительных материалов
- ◆ требования к качеству минеральной продукции
 - ◆ технология горных работ
- ◆ технология переработки минерального и техногенного сырья
 - ◆ экономика горных предприятий
 - ◆ охрана окружающей среды
 - ◆ новое оборудование и приборы

Оргкомитет:
109004, Москва, Тетеринский пер., д. 12, стр.2
Тел.: (495) 915-11-03, 915-75-93 факс: (495) 915-22-31
e-mail: info@nedra2004.ru
http://www.nedra2004.ru

В.Н. КУШКА, главный технолог ЗАО «Урал-Омега» (г. Магнитогорск Челябинской обл.)

Кубовидный щебень. Девять лет спустя

Причиной написания данной статьи явились тезисы некоторых выступлений на совещании «Нерудные материалы для дорожного строительства», которое состоялось в Екатеринбурге 26 февраля 2010 г. Его организаторами выступили Ассоциацией «Недра» и ФГУ «Уралуправтодор». Комментарии данных тезисов автор предлагает читателям журнала – в первую очередь специалистам в области дорожного строительства.

Тезис №1. *Кубовидный* щебень – блеф производителя щебня и поставщиков оборудования.*

Создается впечатление, что эта фраза из 2000 г., когда в России практически такого щебня не выпускали. Продукция первых линий по выпуску щебня I группы вызвала настороженность специалистов заводов ЖБИ. Например, в январе 2000 г. на ДСФ Малый Куйбас в г. Магнитогорске была запущена первая в России линия по производству щебня I группы по ГОСТ 8267-93 и песка I класса из отсева дробления с использованием центробежно-ударной дробилки ДЦ. Технологи и специалисты заводской лаборатории одного из заводов ЖБИ, куда поставлялась эта продукция, жаловалась, что на таком щебне им работать не приходилось. За прошедшие годы на этой линии побывало большое количество специалистов, как производителей, так и потребителей щебня. Качество производимых материалов их впечатляло, что способствовало внедрению центробежно-ударных дробилок ДЦ на действующих или новых производствах.

В настоящее время в России и странах СНГ работают более сотни дробилок ДЦ поставки ЗАО «Урал-Омега». Они стабильно производят щебень I группы, то есть содержащий менее 10% зерен пластинчатой и игловатой формы. Щебень I группы производится на дробильном оборудовании других отечественных и зарубежных поставщиков оборудования, установленном на сотнях предприятий отрасли. Таким образом, можно утверждать, что так называемый кубовидный щебень является распространенной продукцией предприятий нерудной промышленности.

Тезис №2. *Из «шаров» невозможно создать плотную структуру.*

Известно, что от формы зерен и гранулометрического состава зависит насыпная плотность щебня и смесей. Это в свою очередь влияет на расход вяжущих и технологические свойства бетонных смесей, и как следствие, на физико-механические свойства бетонных изделий и дорожных покрытий. Исследования показали, что наилучшей формой зерна щебня для бетона и асфальтобетона является форма, наиболее приближенная к изометрической – кубовидная или тетраэдрическая, которая обеспечивает наиболее плотную упаковку. Результаты таких исследований представлены во многих публикациях, докладывались на научных конференциях, семинарах и совещаниях.

На заседаниях круглого стола Госстроя России и секции «Нерудные строительные материалы» РНТО строи-

телей в 2001–2002 гг. отмечалась актуальность применения так называемого кубовидного щебня прежде всего для строительства автодорог. Приводились прогнозные оценки значительной потребности в таком щебне на длительную перспективу. Хотя ведущие специалисты НИИЖБ заявляли, что качественные изделия из бетона и железобетона можно получать при содержании в щебне пластинчатых и игловатых зерен 25% и более.

Следует отметить, что одновременно с ГОСТ 8267-93 в этот период уже действовали дополнительные технические требования МПС РФ от 11.02.98 г. в соответствии с ГОСТ 7392-85 «Щебень из природного камня для балластного слоя железнодорожного пути», где допустимое содержание зерен щебня пластинчатой и игловатой формы ограничивалось 18%. С 01.07.02 г. на территории России действует новая редакция ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ» с изменением №3, согласно которой содержание зерен пластинчатой и игловатой формы в щебне I группы снижено с 15 до 10%.

С 01.04.03 г. действует новая редакция ГОСТ 7392-2002 «Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути», где допустимое содержание зерен пластинчатой и игловатой формы также снижено до 10% для I группы щебня и до 15% для II группы. Эти изменения говорят о том, что Управление технормирования Госстроя России в свое время действительно отреагировало на необходимость улучшения формы зерен щебня. Но дискуссия продолжалась.

Тем не менее производители оборудования для переработки нерудного сырья ощутили повышенный спрос на дробилки для производства кубовидного щебня. Абсолютное большинство заказчиков под этим термином понимали щебень с содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы менее 10–15% для самых проблемных, мелких фракций 5–10 и 10–20 мм. В период 2000–2009 гг. только ЗАО «Урал-Омега» поставило производителям нерудных строительных материалов в России и странах СНГ около 150 центробежно-ударных дробилок различных типоразмеров для производства кубовидного щебня и рудоподготовки. Продукция этих предприятий поставлялась и успешно применялась для производства товар-

ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
журнала «Строительные материалы»®



<http://ejournal.rifsm.ru/>

* В нормативных документах нет определения «кубовидный» щебень, хотя в последние годы такое словосочетание получило распространение. Кубовидным щебнем называют щебень I и II групп по ГОСТ 8267-93, изменение №3.

ного бетона и различных бетонных изделий, для строительства автомобильных и железных дорог.

Удивляет, что результаты использования щебня с улучшенной формой зерна из различных видов горных пород в промышленных масштабах не заинтересовали специалистов отраслевой науки, которые много говорили о востребованности такого щебня. За эти годы построено сотни километров дорог на основе так называемого кубовидного щебня, но научных исследований применения такого щебня крайне мало.

Приведем пример из практики наших партнеров. Дорожно-строительное предприятие ОАО «Южуралавтобан» ФГУ «Челябавтодор» построило с применением кубовидного щебня 60 км дорог I категории, 150 км дорог II категории и капитально отремонтировало с заменой асфальтобетонного покрытия 500 км дорог. За период эксплуатации до 8 лет дороги не ремонтировались, не производился даже ямочный ремонт, на дорогах не выявлено колееобразование.

Имеются и другие показатели, подтверждающие эффективность применения щебня высокого качества. Плотность скелета асфальтобетонной смеси при применении щебня I группы и песка из отсевов дробления при обеспечении оптимального зернового состава позволяет экономить около 15% битума, снизить технологические затраты при уплотнении смеси за счет меньшего количества проходок катка и т. п. Причем экономия битума создает не только экономический эффект, но и резко повышает сдвигустойчивость покрытия.

Еще один парадокс. Нормативные документы на производство высококачественного щебня появились, организовано массовое промышленное производство такого щебня, а области его применения не определены.

В настоящее время действуют несколько ГОСТов еще советской редакции, регламентирующие область применения щебня, содержащих менее 15% зерен пластинчатой и игловатой формы. Хотя довольно широкий перечень ответственных конструкций и сооружений, где может и должен применяться щебень I группы, постоянно расширяется. Это конструкции и сооружения, к которым предъявляются повышенные требования по плотности, водонепроницаемости, морозостойкости и другим показателям.

Часто можно слышать претензию, что цена «кубовидного» щебня выше стоимости традиционного. Но ведь любой более качественный продукт стоит дороже аналогичного, обладающего худшими характеристиками. Не может щебень I группы стоить столько же, сколько щебень III–IV групп. И стоимость 1 км дороги I категории выше, чем дороги III–IV категории. Эта разница обусловлена не только более сложными технологическими приемами, но и применяемыми материалами и их расходом. Речь должна идти о **рациональных областях применения щебня I–II групп**.

Одним из вопросов совещания, о котором упомянуто в начале статьи, было создание рабочей группы по подготовке материалов для введения европейских норм на щебень, песок и минеральный порошок на территории РФ и о гармонизации норм РФ на асфальтобетон и щебеночно-песчаные смеси с европейскими нормами. В настоящее время российская строительная индустрия уже производит нерудные строительные материалы не хуже, а по ряду параметров лучше зарубежных. Это касается как щебня, так и дробленого песка из отсевов дробления, минеральных порошков. Пора этими преимуществами воспользоваться.

информация

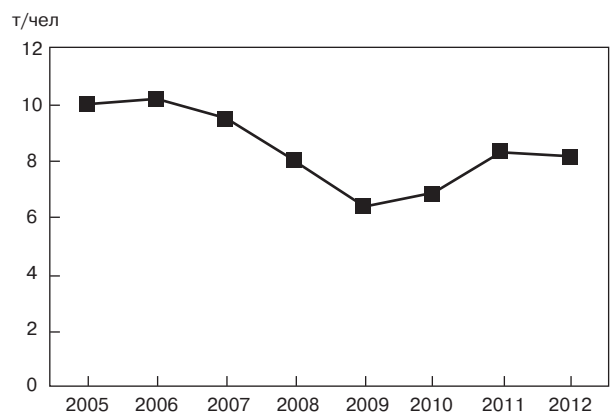
Прогноз по душевому потреблению нерудных строительных материалов в США

Прогноз по душевому потреблению нерудных строительных материалов в США

По данным журнала PIT&QUARRY, April 2010, за период кризиса 2008–2009 гг. производство нерудных строительных материалов (НСМ) в США сократилось на 39%. Перед этим был достигнут максимальный уровень производства и потребления НСМ на одного жителя страны – более 10 т/чел. (см. рисунок).

Прогноз DCG Inc. на несколько ближайших лет предвещает возврат к более умеренному потреблению НСМ на душу населения. Наибольший рост потребления НСМ должен произойти не благодаря развитию жилищного строительства, которое регулируется национальными строительными программами, стимулирующими рост домостроения в 2011–2012 гг., а вследствие разворота, направленного на снижение стимулирования строительства за счет федеральных программ и начала увеличения тарифных ставок. Эта тенденция должна совпасть с периодом восстановления среднего достигнутого за последние годы уровня потребления НСМ 8 т/чел.

Для сравнения, производство НСМ на душу населения в России также в последние годы увеличивалось,



однако составило в 2008 г. лишь 3 м³/чел. (4,2 т/чел.), а в 2009 г. вновь снизилось до 1,9 м³/чел. (2,7 т/чел.). То есть отставание от показателей США в два с лишним раза.

Падение объема производства НСМ в России в 2009 г. по сравнению с 2008 г., когда кризисные явления уже начали проявляться, достигло 39%. Как в США. Но только за один, а не за два года.

Н.В. РАПОПОРТ, канд. техн. наук, П.Б. РАПОПОРТ, канд. техн. наук, ООО Центр дорожных технологий «ДОРЭКСПЕРТ» (Новосибирск); А.В. КОЧЕТКОВ, канд. техн. наук, ФГУП РОСДОРНИИ (Москва); Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ, канд. техн. наук, МАДИ (ГТУ)

Обоснование необходимости введения и идентификации комплексной марки или класса бетона

Современный период характеризуется повышением доли капитальных вложений, выделяемых на реконструкцию и перевооружение действующего производства; в связи с этим большое значение приобретает повышение эффективности, качества и долговечности строительства с применением сборного и монолитного бетона и железобетона.

Систематическое воздействие меняющихся параметров внешней среды на бетон конструкций способствует развитию микро- и макротрещин в бетоне и может приводить к нежелательным последствиям. Объем уже построенных и эксплуатирующихся в условиях внешнего воздействия сооружений велик и растет с каждым годом, а соответственно растет и объем ремонтно-восстановительных работ, требующих вложения значительных средств. Затраты труда, материальных ресурсов и средств на поддержание зданий и сооружений промышленности в нужном для нормальной эксплуатации состоянии в целом по стране превышают затраты на них в период строительства.

Во всех странах серьезная проблема — это обеспечение долговечности бетона и железобетона. Общеизвестно, что снижение долговечности цементных бетонов характерно для бетонов приготавливаемых и используемых для строительства в течение последних 30–40 лет [1]. В технической литературе достаточно широко представлены многочисленные случаи преждевременного разрушения по разным причинам бетонов различных сооружений [2, 3, 4, 5]. Дополнительным доказательством того, что эта проблема характерна и для Российской Федерации, является состояние бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях контакта с окружающей средой. Например, на федеральных дорогах прикромочные лотки повсеместно разрушаются, прослужив всего 3–8 лет, а цементно-бетонное покрытие автомобильных дорог начинает перепокрываться асфальтобетоном через 6–8 лет после окончания строительства. Обследование железобетонных и бетонных конструкций и сооружений, воздвигнутых и эксплуатируемых в условиях негативного воздействия климата (железобетонные шпалы, сборные железобетонные лотки ирригационных каналов, подпорные стены, каналы, лотки, элеватор, цементно-бетонные дорожные покрытия, объекты Таштекстильмаша, Таштекстилькомбината, корпус Узбекского бумажного комбината, цементные силосы Беговатского цементного завода, Саларские очистные сооружения) выявило их недостаточную долговечность.

К наиболее быстро повреждаемым сооружениям относятся: мосты и путепроводы (метромост в Лужниках, путепроводы у метро «Парк культуры» и на Самотечной площади, ряд мостов через Яузу и многие другие); подземные переходы и переходы над железнодорожными путями; дорожные покрытия, коммунальные тоннели и

каналы, коллекторы сточных вод, проходные тоннели с линиями электроснабжения, связи, сетями холодного и горячего водоснабжения, каналы трубопроводов горячей воды и пара); подземные сооружения типа подвалов, фундаментные сооружения и т. п.

По данным натурных обследований, анализа проектных материалов и экспертной оценки специалистов установлено, что негативному воздействию подвергаются в различных отраслях народного хозяйства 15–75% строительных конструкций зданий и сооружений.

В последние 30–35 лет проблема долговечности цементных бетонов стала весьма актуальной. Обеспечение долговечности бетонов долговременных транспортных сооружений (тоннели, мосты, различного типа подземные сооружения, метрополитены, цементно-бетонные покрытия автомобильных дорог и т. п.) стало основной проблемой, решаемой при проектировании и строительстве [6].

Современные бетоны существенно отличаются от используемых ранее прежде всего пониженной стойкостью к воздействию различных агрессивных сред и снижением темпа роста прочности бетона во времени.

Основные положения, выводы и зависимости свойств бетонов получены по мере развития теории и базировались на основе экспериментального материала, полученного испытанием цементных бетонов в 30–60-е гг. XX в.

Кинетика роста прочности бетонов во времени зависит в числе прочих факторов и от условий твердения. По опубликованным данным исследователей, даже при влажном хранении прочность бетона в 2 раза увеличилась только через 11 лет, а при 7 сут влажного хранения наблюдается спад прочности в возрасте 9 лет. При сухих условиях хранения, по данным О. Графа, прирост прочности наблюдается только в первый год, в последующем возможен спад прочности. Ч. Уизей установил, что после 3 мес сухого хранения прирост прочности бетона прекращается. Ранее в 30-е гг. прошлого столетия отмечалось, что в бетоне после 15 лет твердения на воздухе содержится до 40% негидратированных реликтов. В бетонах того же состава и возраста, но твердевших во влажной среде, количество реликтов составляет 25%.

В более поздних исследованиях (в 50-е гг. XX в.) было установлено, что после 6 мес твердения в нормальных условиях в портландцементном камне количество негидратированных зерен клинкера составляет 40%, а после полной гидратации 10–15% (при этом под микроскопом не обнаруживаются C_3S и C_3A) [7].

По данным, полученным И.М. Френкелем [4], цементы с тонким помолом дают более быстрое нарастание прочности в первые дни твердения, чем размолотые более грубо. С.В. Шестоперов [5] считал, что бетоны на домолотых цементах отличаются пониженной морозостойкостью, и предлагал в связи с этим ввести нормирование гранулометрического состава цементов.

Как известно, минералогический состав цемента предопределяет его поведение при дальнейшем твердении в составе бетона. Так, в работах В.Н. Юнга, Ю.М. Бутта, Г. Андерегга, Н. Губеля, Р. Богга, М. Лерча, В.А. Кинда, К.Д. Некрасова, С.А. Окорокова и других ученых доказано, что процесс гидратации минералов цементного клинкера во времени протекает неравномерно. К 28 сут твердения степень гидратации C_3S составляет 69–87%; C_2S – 84–100%; C_4AF – 81–95%, а C_3A всего 11–28%. Поэтому можно предполагать, что последующий рост прочности бетона связан с продолжающейся гидратацией C_2S , а прочность в возрасте 28 сут предопределяется в основном гидратацией C_3S . Следовательно, соотношение прочностей в возрасте 28 сут и в более поздние сроки будет предопределяться соотношением между двумя этими минералами.

Установлено, что за рассматриваемый период на фоне резкого увеличения тонкости помола изменился минералогический состав в сторону существенного увеличения содержания в цементах C_3S за счет уменьшения C_2S . Возможно, это явилось одной из причин снижения долговременной прочности или снижения темпов роста прочности бетона во времени.

Ранее было выявлено, что изменение темпа роста прочности бетона во времени сопровождается, как правило, изменением взаимосвязей прочности с другими свойствами (прочностью при растяжении, уровнями микротрещинообразования, модулем упругости и т. п.) и соответственно изменением морозо-, водо-, атмосферостойкости бетонов и соответственно долговечности их в составе конструкций и сооружений. В качестве доказательства может быть рассмотрено изменение коэффициента конструктивного качества (ККК) бетона, коэффициента призменной прочности во времени. Косвенным доказательством является различие закономерностей изменения различных свойств бетонов во времени. Весьма интересные данные получены при изучении изменения прочности на растяжение. Установлено, что прочность на растяжение увеличивается только в течение первого года, потом имеет место спад прочности и по истечении 20 лет она составляет 65–70% прочности при растяжении бетона в возрасте 28 сут. При этом меняется соотношение между прочностями бетона при растяжении и при сжатии. По мнению Р. Залигера, прочность при растяжении зрелых бетонов составляет от 1/6 до 1/24 прочности этих же бетонов при сжатии.

Развитие науки и техники (технологий) цементных бетонов сопровождалось изменением минералогического состава и дисперсности цементов, а также разработкой технологий, основанных на применении методов интенсификации твердения бетонов в процессе изготовления изделий и конструкций, что и явилось, на наш взгляд, одной из причин многочисленных попыток корректировки полученных ранее зависимостей прочности бетона от состава, которые не коррелируются со свойствами современных бетонов.

Обобщая вышеизложенное с учетом результатов собственных исследований [8], можно утверждать, что большая часть исследований и изменений технологий производства цемента, бетонов и конструкций на основе цементных бетонов за период с 1930 г. была нацелена на увеличение прочности бетонов в ранних возрастах.

Реализация большей части этих методов сопровождалась снижением темпов роста прочности бетона в последующих возрастах [1]. Зависимость долговременной прочности бетона от условий твердения, минералогического состава и дисперсности цемента являлась одной из причин, по которой С.В. Шестопопов предложил ввести понятие комплексной марки бетона [5].

Отсутствие или снижение темпов роста прочности и стойкости современных бетонов в условиях воздействия любых сред, отличных от нормальных, должно учитываться при проектировании бетонов, а также конструкций и сооружений на основе этих бетонов. Проектирование в целом должно быть нацелено на обеспечение заданной долговечности сооружения или конструкции и соответственно бетонов, из которых они сооружаются. С аналогичной проблемой встречаются при необходимости определения остаточных ресурсов при проведении обследования на предмет реконструкции.

Снижение долговечности – следствие переноса через тело бетона агрессивных агентов и их взаимодействие с компонентами бетона, в том числе с продуктами гидратации цемента. На химические реакции, медленно протекающие во времени, накладываются образование микротрещин из-за усадочных температурных или силовых воздействий, а также электрохимические процессы, связанные с коррозией арматуры. Моделирование указанных явлений и разработка критериев их численной оценки являются ключом к созданию методов прогнозирования долговечности бетона и соответственно к управлению этой долговечностью.

Большой объем результатов обследований возводимых и эксплуатируемых бетонных и железобетонных конструкций, который ведется в последние годы, к сожалению, слабо анализируется. Между тем системная оценка таких данных помогла бы уточнить ряд подходов к обновлению нормативной базы по бетону и железобетону, в том числе и в НД, который должен ужесточить требования к качеству и долговечности бетона и железобетона. Необходимость повышения требований к бетонам влечет за собой разработку новых стандартов. Так, в 1989 г. к разработке стандарта EN 206 на бетоны приступил технический комитет СЕН ТК 104 «Бетоны», возглавляемый профессором Гансом Майером, директором Берлинского института строительства. В техническом комитете для учета отдельных проблем при разработке стандарта EN 206 были созданы следующие рабочие группы (Task Group – TG):

- TG1 Долговечность;
- TG2 Учет химического воздействия сред эксплуатации;
- TG3 Критерии соответствия;
- TG4 Классы бетонов по прочности;
- TG5 Минеральные добавки (наполнители);
- TG6 Сборные элементы;
- TG7 Уход, тепловая обработка;
- TG8 Методы испытаний;
- TG9 Щелочная реакция заполнителей;
- TG10 Аттестация на соответствие требований.

Из десяти групп три (долговечность, учет химического воздействия сред эксплуатации, щелочная реакция заполнителей) имели отношение к долговечности бетонов. Работа над стандартами потребовала немалых усилий от экспертов, в результате чего было подготовлено 26 редакций текста стандарта. Для их согласования были привлечены ЕРМКО – Европейская ассоциация производителей товарного бетона, РИЛЕМ – Международная ассоциация по испытаниям материалов и др. В итоге к концу 1999 г. (через 10 лет) работа была завершена.

Европейский стандарт EN 206–1 «Бетоны» содержит требования к бетону, производимому на стройплощадке, на заводах товарного бетона, на заводах сборного железобетона и предназначенному для изготовления монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций, в том числе с предварительным натяжением арматуры. В стандарт 1999 г. по сравнению с редакцией стандарта 1990 г. были внесены следующие изменения:

- увеличено число классов бетона;
- записаны требования по обеспечению долговечности;
- записаны позиции о необходимости охраны окружающей среды;
- выделены классы по прочности легкого бетона;
- уточнены понятия «водоцементное отношение» и «содержание цемента» при наличии минеральных добавок;
- уточнены понятия технической ответственности между лицом, формирующим требования к бетону (это может быть заказчик), изготовителем бетонной смеси и производителем работ;
- пересмотрены требования по точности весовых дозаторов;
- пересмотрены требования по уходу за уложенным бетоном;
- оговорены процедуры испытаний на соответствие требованиям стандартов;
- уточнены критерии соответствия.

В соответствии с рекомендациями стандартом EN 206–1 следует пользоваться совместно со стандартами на составляющие материалы и методы их испытаний. В связи с тем, что ряд этих стандартов находится в стадии подготовки, введение EN 206 как единого, обязательного европейского стандарта для стран ЕС откладывается до момента завершения всей сопутствующей группы стандартов. В настоящее время Великобритания, Франция, Португалия, Германия уже включили основные положения данного стандарта в свои национальные нормы.

Предусмотрено, что помимо требований, содержащихся в стандарте, в отдельных документах дополнительно могут быть изложены требования к бетонам:

- предназначенным для строительства особо ответственных объектов: транспортных эстакад, высоких плотин; напорных резервуаров, корпусов реакторов АЭС, морских платформ, а также дорог;
- содержащим нестандартные компоненты (волокон, нетрадиционные заполнители и добавки);
- на легких заполнителях.

Стандарт EN 206 содержит ссылки на несколько десятков других стандартов, как законченных, так и находящихся в стадии разработки. В этом стандарте под тяжелым бетоном понимается бетон с плотностью в диапазоне $2100 < \rho < 2600 \text{ кг/м}^3$, под легким – $800 < \rho < 2100 \text{ кг/м}^3$; к высокопрочным бетонам относятся бетоны класса выше С67 (что несколько отличается от принятых в РФ). Максимальный класс бетона, указанный в стандарте:

- для тяжелого – С115;
- для легкого – С88.

В стандарте широко используются два термина:

– «бетон заданного качества» – бетон, требуемые характеристики которого задаются потребителем; при этом изготовитель бетона несет ответственность за обеспечение этих требований;

– «бетон заданного состава» – бетон, состав которого назначается потребителем, при этом изготовитель несет ответственность за соблюдение этого состава, но не несет ответственности за обеспечение прочим, в том числе эксплуатационных, характеристик такого бетона.

Определенное место вопросы долговечности заняли и в научных исследованиях. Например, в табл. 1 представлены процентные соотношения изучаемых характеристик бетона, при изучении влияния добавок на него. Непосредственно долговечность изучалась в 19% всех исследований за период 1965–2000 гг.

Усилиями отечественных ученых предложены различные методы оценки долговечности или остаточных ресурсов конструкций или сооружений, некоторые из них представлены в табл. 2.

Таблица 1

№ п/п	Код эффекта	Свойство бетона, меняющееся при внесении добавки	Из общего числа добавок изучено влияние на данный эффект, %
1	X ₁	Прочность на сжатие	59,09
2	X ₂	Расход цемента	53,64
3	X ₃	Подвижность бетонной смеси	52,27
4	X ₄	Морозостойкость бетона	47,73
5	X ₅	Сроки схватывания цемента	45
6	X ₆	Жизнеспособность бетонной смеси	44,09
7	X ₇	Водопотребность бетонной смеси	43,64
8	X ₈	Водонепроницаемость	37,27
9	X ₉	Воздухововлечение	30
10	X ₁₀	Стойкость бетона к действию агрессивных сред	26,36
11	X ₁₁	Время тепловлажностной обработки	19,09
12	X ₁₂	Долговечность бетона	19
13	X ₁₃	Расслаиваемость бетонной смеси	18,64
14	X ₁₄	Плотность бетонной смеси	16,36
15	X ₁₅	Защитная способность бетона по отношению к арматуре	11,82
16	X ₁₆	Статический модуль упругости бетона	8,64
17	X ₁₇	Прочность бетона на растяжение	7,27
18	X ₁₈	Ползучесть бетона	6,82
19	X ₁₉	Стойкость бетона при действии повышенных температур	5,45
20	X ₂₀	Водопоглощение бетона	5,45
21	X ₂₁	Капиллярное всасывание бетона	4,55
22	X ₂₂	Усадка бетона	4,09
23	X ₂₃	Сцепление арматуры с бетоном	2,73
24	X ₂₄	Призменная прочность бетона	2,27
25	X ₂₅	Время помола цемента	1,82
26	X ₂₆	Время уплотнения бетонной смеси	1,82
27	X ₂₇	Капиллярная пористость бетона	1,36
28	X ₂₈	Сроки твердения бетона	1,36
29	X ₂₉	Динамический модуль упругости бетона	0,91
30	X ₃₀	Плотность бетона	0,9
31	X ₃₁	Пластическая усадка цементного теста	0,45
32	X ₃₂	Трещиностойкость бетона	0,45

Методы оценки долговечности материала (цементного бетона), приведенные в табл. 2, практически не применяются. Методы оценки остаточного ресурса конструкций или сооружений, приведенные в табл. 2, разработаны сравнительно недавно, достаточного опыта их применения нет. Поэтому необходим их тщательный анализ.

При обследовании зданий старого фонда, чертежи которых отсутствуют, а вскрытие затруднено или недо-

Таблица 2

Методы оценки и прогнозирования долговечности или стойкости цементного бетона		
Суть или специфика метода	Источник, автор или разработчик	Примечания
По приведенному удлинению образцов	Г.И. Горчаков и др	Испытываются лабораторные образцы; при переходе на прогнозирование реальных сооружений погрешность прогноза резко увеличивается и достигает недопустимых значений
По водонасыщению и распределению влаги	М.И. Бруссер	
Зависимость от температурно-влажностных деформаций в разных возрастах	Т.Ю. Курбанов	
Ключевой структурный параметр	И.А. Рыбьев	Практического применения не получили, так как ошибка прогноза достигает 40%
Коэффициент гидрофильности	Г.И. Книгина	
Открытая и замкнутая пористость	А.И. Минас	
Методика определения проницаемости для ионов хлора	Baroghel-Bouny V., Rougeau P., Chaussadent T., Croquette G. (Etude comparative de la durabilite des betons B30 et B80 des ouvrages jumeaux de Bourges. 11. Etude experimentale de la penetration des ions chlorures par differentes methods)	Практического применения не получили из-за сложности определения
Процессы карбонизации и усадки бетонов	Те же	
Анализ «жизненных циклов» (LCA) «есо-quantuma» есо-индикаторы, модели TWIN система BEDS	Duurzaan bouwen, is dat meetbaar // Otar. 1998. 83, №9. С. 303–307.	Определение нормируемой долговечности, но не самой долговечности
Методы оценки остаточного ресурса конструкций или сооружений		
Название метода	Суть или специфика	Источник, разработчик
Остаточный ресурс общественных зданий	Методы динамических испытаний. Обследование в целях реконструкции	В.М. Улицкий, В.Н. Парамонов, д-ра техн. наук., А.Г. Шашкин, канд. техн. наук, К.Г. Шашкин, «Северо-западное отделение РНКМГ и Ф» «Геореконструкция»
Остаточный ресурс, методы риск-анализа конструкций потенциально опасных объектов	Модели вероятностной динамики повреждений в сложных, структурно неоднородных системах	В.В.Москвичев, д-р. техн. наук, зав. отделом, А.М. Лепихин, канд. техн. наук., зав. лабораторией, С.В. Доронин, канд. техн. наук, ВЦК Со РАН
Остаточный ресурс	Нетрадиционная задача распознавания образов в условиях неоднозначных «указаний учителя», позволяющая расширить область применения теории классификации при исследовании сложных систем	А.В. Лапко, д-р. техн. наук., зав. лаб. ВЦК Со РАН; С.И. Крохов канд., техн. наук., профессор КГТУ
Определение остаточного ресурса посредством экспертной системы «Строитель»	Анализ данных по реальному состоянию элементов зданий, выявление закономерности их изменения (старения)	МНИЛ ПЭНСИИК Ростовской-на-Дону государственной академии строительства совместно с межвузовским сектором новых информационных технологий (МС Нит) НИИ механики и прикладной математики Ростовского государственного университета.

пустимо, в сочетании с общеизвестными методами неразрушающего контроля наиболее часто применяются методы динамических испытаний. Отличительной чертой этих испытаний является испытание конкретных конструкций или сооружений, для которых и осуществляется прогноз. Методика испытаний и параметры динамической нагрузки реальных воздействий не моделируют. Методы предназначены для определения остаточного ресурса общественных зданий, технических возможностей и экономических параметров их реконструкции. Практика показала, что достоверность, надежность и погрешность определяемого остаточного ресурса зданий не удовлетворяет современным требованиям.

Разработаны методы риск-анализа конструкций потенциально опасных объектов, базирующиеся на специальных моделях вероятностной динамики повреждений в сложных, структурно неоднородных системах. Мето-

ды предназначены для оценки показателей безопасности и остаточного ресурса сооружений по данным экспертных оценок технического состояния объектов, что не исключает субъективизма оценки.

На основе вероятностной трактовки процессов деформирования и разрушения, а также наступления предельных состояний развита методология решения прямых и обратных задач механики разрушения и ресурсного проектирования конструкций. Но вероятностная трактовка процессов деформирования и разрушения вступает в противоречие с практикой определения в РФ количественных характеристик свойств материалов и конструкций.

Статистическое моделирование динамики повреждений и вероятностная формулировка предельных состояний позволили получить оценки влияния технологических дефектов и усталостных трещин на безопасность

Название гипотезы	Суть	Формула
Линейного накопления повреждений Пальмгрена–Майнера	Доля поврежденности при любом уровне амплитуды напряжения цикла S_i прямо пропорциональна отношению числа циклов его действия к полному числу циклов, которое привело бы к разрушению при этом уровне, т. е. $D_i = n_i/N_i$	Разрушение произойдет, если: $\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \geq 1$
Марко-Старки (Рихарта–Ньюмарка)	Нелинейная гипотеза повреждения $D_i = (n_i/N_i)^{m_i}$, где m_i зависит от уровня напряжения	$\sum \frac{n}{N} = \int_0^i \frac{\left[1 + \frac{N_1}{N_2} + \frac{N_1}{N_3} + \dots + \frac{N_1}{N_i}\right] dD}{\left[1 + \frac{N_1}{N_2} r_2 D \left(\frac{r_2 - 1}{r_2}\right) + \dots + \frac{N_1}{N_i} r_i D \left(\frac{r_i - 1}{r_i}\right)\right]}$
Генри	Кривые усталости смещаются по мере накопления повреждений: $D = (E_0 - E)/E_0$, где E_0 – предел усталости исходного материала; E – то же после повреждений. Считается, что при действии циклических нагрузок ниже предела усталости не возникает никаких повреждений	$D = \frac{\frac{n}{N}}{1 + \left[\frac{E_0}{S - E_0}\right]^* \left(1 - \frac{n}{N}\right)}$
Гатса	Усталостная прочность и предел усталости меняются непрерывно: $D(S) = (S - S_e)^p$, где S_e – предел усталости; S – мгновенное значение прочности	Эквивалентно соотношению Генри
Кортена–Долана	Время, требуемое для образования зародышей поврежденности, равно нулю $N^l = 0$. Между удельной поврежденностью и числом циклов существует степенная зависимость $D^l = rN^a$	$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_1} \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^d + \frac{n_3}{N_1} \left(\frac{S_3}{S_1}\right)^d + \dots + \frac{n_i}{N_1} \left(\frac{S_i}{S_1}\right)^d = 1$
Марина	Построено семейство кривых усталости, соответствующих различным уровням поврежденности	$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^q + \frac{n_3}{N_3} \left(\frac{S_3}{S_1}\right)^q + \dots + \frac{n_i}{N_i} \left(\frac{S_i}{S_1}\right)^q = 1$
Билинейное правило Мэнсона суммирования повреждений	Процесс усталости разделен на фазы зарождения трещины и ее распространения. Правило линейного суммирования повреждений применяется к каждой фазе отдельно	

и остаточный ресурс. Помимо этого технологические дефекты являются только одной из причин исчерпания остаточного ресурса и не могут определять всего ресурса в целом.

Приложения методов распознавания образов для оценки технических состояний обследуемых зданий и сооружений общеизвестны. Достаточно широко применяется в практике диагностирования и нетрадиционная задача распознавания образов в условиях неоднозначных «указаний учителя», позволяющая расширить область применения теории классификации при исследовании сложных систем. Разработаны оригинальные методы синтеза и анализа непараметрических алгоритмов распознавания образов при «неидеальном учителе», установлены их асимптотические свойства и зависимость от вероятностных особенностей обучающих выборок. В РФ эти методы при прогнозировании долговечности не получили распространения.

Разработана также экспертная система «Строитель», предназначенная для определения и оценки эксплуатационной надежности жилых и гражданских зданий. Для этой системы характерны все недостатки, присущие экспертным системам.

В стадии разработки – второй уровень экспертной системы, предназначенный для планирования и оптимизации проведения ремонта (реконструкции) зданий. Ос-

новная задача ЭС этого уровня – проанализировать данные по реальному состоянию отдельных элементов зданий, выявить закономерность их изменения (старения), сравнить остаточный ресурс каждого элемента с требуемыми сроками надежной эксплуатации, назначить комплекс необходимых мероприятий (капитальный ремонт, реконструкция и т. д.) и оптимизировать его параметры с учетом фактического состояния и многокритериальных требований реальной ситуации. Экспертные системы второго уровня основываются на данных экспертных оценок технического состояния объектов, что не исключает субъективизма оценки, и требуют для своего осуществления достаточно большого количества квалифицированных экспертов, имеющих опыт оценки состояния объектов, остаточный ресурс которых определяется.

Необходимо отметить, что используемые в РФ методы оценки долговечности или остаточных ресурсов конструкций или сооружений на практике свою эффективность не подтвердили, точность прогноза не обеспечивается, достоверность прогноза в большинстве случаев сомнительна.

Под долговечностью в настоящее время принято понимать свойство объекта сохранять свою работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и регламентов. Необходимо рассматривать методики

Таблица 4

Автор или разработчик	Учитываемые параметры
Г.Д. Дибров	Кубиковая и призмная прочности дополнены изучением прочности на растяжение
М.М. Селимов, Г.Д. Цискрели	Дополнено прочностью на растяжение при изгибе
М.М. Селимов	Дополнено нижним и верхним уровнями трещинообразования
Н.В. Свечин, В.Н. Пунагин	Дополнено модулем упругости
В.Н. Пунагин	Дополнено модулем сдвига, коэффициентом упругости, пластичности и Пуассона
С.А. Миронов, Е.Н. Малинский	Дополнительно усадка и ползучесть бетона, пластическая усадка
С.А. Миронов, П.П. Будников, С.М. Рояк	Дополнительно изменение степени гидратации цемента
С.А. Миронов, П.П. Будников, С.М. Рояк	Количество негидратированных зерен клинкера
С.А. Миронов, М.М. Селимов	Количество и вид микротрещин
С.А. Миронов, Е.Н. Малинский	Водонепроницаемость, объемное водопоглощение, объемная масса, наличие трещин на поверхности
Повсеместно	Сопоставление с бетонами нормального твердения
Повсеместно	Сопоставление с водонасыщенными бетонами

прогноза как научно обоснованного суждения о возможных состояниях объекта или системы в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках наступления этих состояний, что требует формализации понятия, описания и оценки состояния с учетом прогноза. Этого ни одна из представленных методик не решает.

В последнее время появились работы, в которых делаются попытки применения одной из гипотез накопления повреждений, представленных в табл. 3. Но ощутимого успеха эти попытки не принесли, так как изначально эти гипотезы были получены обобщением результатов испытаний металлов и предназначались для прогнозирования поведения металлов.

Повсеместно из-за сложности определения и отсутствия достоверной и надежной методики долговечность подменяется другими параметрами (морозостойкостью, коэффициентом стойкости, долговечности, трещиностойкости, различными параметрами, в том числе и комплексными, состоящими из двух и более характеристик). Имеет место тенденция разработки комплексного показателя свойств цементных бетонов [9].

В связи с этим возникает задача повышения информативности используемых в процессе проектирования характеристик свойств или параметров бетона. Общеизвестно, что увеличение числа параметров, используемых для описания состояния бетона с одного до двух и более, приводит к резко увеличению информативности.

Понимая это, многие ученые предпринимали попытки повышения информативности учитываемых параметров увеличением их числа или применением относительных характеристик, которые могут быть названы комплексными марками или классами, как это показано в табл. 4.

Практика показала недостаточную информативность выбираемых параметров, из информатики известно, что подобного типа попытки информативность не повышают.

Известны многочисленные случаи преждевременного разрушения бетонов относительно высокой морозостойкости и наоборот относительно длительной службы конструкций из бетона невысокой морозостойкости. Выявлено, что не полностью насыщенные водой лабораторные образцы циклическим замораживанием и оттаиванием разрушить не удастся. Известно, что бетон в реальных конструкциях насыщается водой частично. Установлено также, что повышение прочности не является гарантией долговременной службы бетона в различных условиях. В свое время анализ состояния бетона ж/б шпал показал, что характер разрушения их не зависит от отпускной прочности и технологии изготовления.

Известно, что результаты, полученные во время лабораторных исследований, в той или иной степени отличаются от истинных значений, характеризующих изучаемое свойство материала. Это является следствием того, что, во-первых, порядок изготовления и испытания образцов в какой-то степени отличается от установленных нормами, во-вторых, сказываются погрешности испытательного оборудования и ошибки самого экспериментатора, в-третьих, немаловажную роль играет изменчивость свойств исходных материалов. Случайные причины невозможно определить заранее, а тем более учесть количественно. В результате влияния случайных факторов полученные значения одного и того же показателя являются случайными. А случайные показатели не могут характеризовать свойства материала. Путем статистической обработки результатов можно установить истинное значение изучаемого свойства материала. При этом также обнаруживается картина изменчивости свойства и некоторые его закономерности, что способствует управлению процессом испытания и надлежащему контролю над ним. Развитие системы

(бетона) во времени мы пытаемся измерить параметрами, замеряемыми в конкретное время и никакого отношения к изменению во времени не имеющими. Иначе говоря, осуществляется попытка измерить скорость перемещения системы (бетона) во времени параметрами, никакого отношения к скорости не имеющими.

Целью оценки состояния бетона является установление степени его эксплуатационной пригодности. Эксплуатационная пригодность определяется совокупностью требований к его строительно-техническим свойствам. Например, в условиях работы бетона в составе покрытия автомобильных дорог он испытывает совместное действие эксплуатационных воздействий (динамического воздействия и агрессивной среды) и воздействие окружающей среды (преимущественно климата). В процессе эксплуатации меняются практически все характеристики бетона, то есть меняется состояние бетона от исходного к состоянию на момент исследования. Иначе говоря, сложная система бетон перемещается во времени от какого-то начального состояния к конечному состоянию (предельному), и нужно определить время, за которое это перемещение осуществляется (долговечность или остаточный ресурс).

Очевидно, что необходимо перейти к проектированию и использованию бетонов комплексных марок, которые должны учитывать помимо условий эксплуатации и заданную долговечность конструкции или сооружения, в составе которой предполагается использование проектируемого бетона.

Авторами разработан один из возможных способов решения этой проблемы, который апробирован на практике и может быть представлен заинтересованным лицам.

Основные выводы и предложения:

1. Снижение долговечности цементных бетонов характерно для бетонов, приготовленных и исполь-

зованных для строительства в течение последних 30–35 лет.

2. Современные бетоны существенно отличаются от прежних прежде всего пониженной стойкостью к воздействию различных агрессивных по отношению к ним сред и снижением темпа роста прочности бетона во времени.

3. Отсутствие или снижение темпа роста прочности и стойкости современных бетонов в условиях воздействия любых сред, отличных от нормальных, должно учитываться при проектировании бетонов, а также конструкций и сооружений на основе этих бетонов.

4. Необходимо ввести понятие комплексной марки или класса бетона, которая должна включать в себя или учитывать:

- основные свойства бетона, определяющие с точки зрения эксплуатации конструкции или сооружения на основе проектируемого бетона (водонепроницаемость, морозостойкость, стойкость в условиях воздействия конкретных сред, модуль упругости, стабильность свойств бетона во времени и т. п.);

- условия эксплуатации проектируемого бетона (возможно с разбивкой на категории);

- долговечность проектируемого бетона в конкретных условиях (с разбивкой по группам долговечности);

перечень цементов с учетом условий эксплуатации, которые могут быть использованы для приготовления бетона (включая ограничения по дисперсности или по гранулометрическому составу цемента, минералогическому составу и т. п.).

Ключевые слова: бетон, комплексная характеристика, долговременная прочность, долговечность, остаточный ресурс.

Список литературы

1. *Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В.* Оценка и прогнозирование состояния бетона конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия климата // Сб. науч. тр. СГУПС Обеспечение надежности объектов транспорта при проектировании и эксплуатации. Новосибирск, 1999. С 122–127.
2. *Zito F.* La drabilità del calcestruzzo La tecnica professionale. Collegio inqeqheri ferroviari italiani, 1983 P. 636–643.
3. *Hajnal-Konyi K.* Concrete New Ways of Building. London, 1951 19 p.
4. *Френкель И.М.* Технология пластичности бетона. М.: Стройиздат, 1922. 74 с.
5. *Шестоперов С.В.* Контроль качества бетона транспортных сооружений. М.: Транспорт. 1975 С. 245.
6. *Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Молчанов В.С.* Долговечность современных цементных бетонов транспортных сооружений // Межвузовский сб. науч. тр. Повышение работоспособности железных и автомобильных дорог в сложных природных условиях. СГУПС. Новосибирск, 2001. С. 94–103.
7. *Idorn G. M.* Cognate energy and Darabrlyty. Cognate International Design Construction. USA. 1984. P. 13–20.
8. *Рапопорт П.Б.* Оценка и прогнозирование стойкости бетона с добавкой пластификатора в условиях сухого жаркого климата. Дис. канд. техн. наук, Ташкент. 1987.
9. *Фазылов У.Ф., Юсупов Р.Р., Мукумов А.А., Икрамов А.Р.* Влияние комплексных климатических воздействий на прочность и деформации бетона // Сб. тр. ТашПИ Исследование строительных материалов и конструкций. Ташкент, 1986. С. 80–86.



**СТРОЙ
МЕХАНИКА**

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «СТРОЙМЕХАНИКА»

+7 (4872) 701 400

Реклама



Винтовые конвейеры серии «ВК»



Дисковые затворы



Предохранительные клапаны



Ленточные транспортеры серии «ЛК»



Рукавные фильтры



Шиберные затворы



Система аэрации силоса



Датчик уровня цемента серии SH



Пережимной клапан SMA

Машиностроительное предприятие «СтройМеханика», РФ, г. Тула, пос. Рудаково,
ул. Люлина, д. 6А; Тел/факс +7 (4872) 701 400; e mail: info@penobet.ru www.stroymehnika.ru

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



Реклама
тел/факс в Челябинске:
(351) 790-16-13, 790-16-85, 796-64-14
в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58
e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru
www.stroypribor.ru

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03
ударно-импульсный

автоматическая обработка
измерений



диапазон 3...100 МПа

УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
ультразвуковой

поверхностное и сквозное
прозвучивание



частота 60...70 кГц
диапазон 10...2000 мкс

ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д /
ПОС-50МГ4 "Скол"

отрыв со скалыванием
и скалывание ребра

предельное
усилие 60 кН
диапазон 5...100 МПа



ПОС-2МГ4 П

испытание прочности
ячеистых бетонов



предельное
усилие вырыва 2,5 кН

ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ
ДИНАМИЧЕСКИЕ
ПДУ-МГ4 "Удар"

и **ПДУ-МГ4 "Импульс"**
определение динамического
модуля упругости грунтов
и оснований дорог
методом штампа,
диапазон: 5...370 МН/м² ("Удар")
5...300 МН/м² ("Импульс")



Прессы испытательные
малогабаритные

ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4
/ ПГМ-1000МГ4

с гидравлическим приводом
для испытания бетона,
асфальтобетона, кирпича
■ предельная нагрузка
100 / 500 / 1000 кН
■ масса 70 / 120 / 180 кг



ПСО-10МГ4 КЛ

испытание прочности
сцепления в каменной
кладке

предельное усилие
отрыва 15 кН



АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4

испытание прочности
сцепления покрытия
с основанием

предельная нагрузка
1 / 2,5 / 5 / 10 кН



ИЗМЕРИТЕЛИ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"

стационарный
и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01
анемометр-термометр

диапазон 0,1...20 (1...30) м/с
-30...+100 °С



ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ
ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ИТП-МГ4.03 "Поток"

3...5, 10 и 100-канальные
регистраторы

диапазон 10...999 Вт/м²
-40...+70 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4

для измерения влажности
бетона,
сыпучих,
древесины
диапазон 1...45 %



ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ
ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4

диаметр контролируемой
арматуры 3...40 мм
диапазон измерения
защитного слоя 3...140 мм



ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01

модульные регистрирующие
для зимнего бетонирования
и пропарочных камер
(до 20 модулей в комплекте)
зондовые / контактные
1...2-канальные
диапазон -40...+100 / 250 °С



ДИНАМОМЕТРЫ

ДМС-МГ4 / ДМР-МГ4
эталонные

сжатия / растяжения
предельная нагрузка
1...1000 кН



ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ
АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых
усилий 2...120 кН

диаметр
арматуры 3...12 мм



ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ
В АРМАТУРЕ

ЭИН-МГ4

частотный метод

диаметр
арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа



ПРОИЗВОДИМ: ИЗМЕРИТЕЛИ ВИБРАЦИИ, МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТОЛЩИНОМЕРЫ, ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ВЕСЫ И ДР.

2010 г.
26-28 ОКТЯБРЯ
МОСКВА
ЭКСПОЦЕНТР

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПО ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА



ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА ВЫСТАВКИ:



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«CONLIFE. БЕТОН: СЫРЬЕ, ТЕХНОЛОГИИ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ»
Своим практическим опытом с Вами поделятся ведущие специалисты из России, ближнего и дальнего зарубежья.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ САЛОН
«RECONEXPO. РЕМОНТ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ»
Уникальные технологические решения для ремонта и защиты бетонных и железобетонных конструкций от ведущих компаний – производителей.



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«RECON. РЕМОНТ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ»
На конференции обсуждаются самые актуальные вопросы и проблемы, которые позволяют найти оптимальные технологические решения!



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР-КОНКУРС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И АСПИРАНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ, БЕТОНОВ И СУХИХ СМЕСЕЙ



МИНИСТЕРСТВО
РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ
Российской Федерации





**ПРИМИТЕ УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКЕ,
И ВЫ СМОЖЕТЕ:**

- Увеличить объем продаж
- Успешно вывести на рынок новую продукцию
- Установить прямые контакты с заказчиками
- Расширить свои дилерские сети
- Найти новых партнеров
- Провести маркетинговые исследования

НА ВЫСТАВКЕ:

- Комплексные бетонные заводы
- Оборудование для производства сборного железобетона
- Оборудование для производства мелкоштучных бетонных изделий
- Оборудование для подачи и укладки бетонной смеси
- Силоса, смесители, дозаторы
- Методы и оборудование для контроля качества бетона
- Опалубка для производства монолитного железобетона
- Арматура
- Установки для производства газо- и пенобетона

ТОЛЬКО ДЛЯ УЧАСТНИКОВ ФОРУМА — ДЕМОНСТРАЦИЯ САМЫХ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ В РАМКАХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРЕЗЕНТ-КОНФЕРЕНЦИЙ:



«**Monolith-Show.** Монолитное домостроение»
Участие – бесплатно!



«**Block-Show.** Современные технологии и оборудование для производства сборного железобетона и мелкоштучных бетонных изделий»
Участие – бесплатно!



«**Dry-Show.** Сухое строительство»
Участие – бесплатно!

Подробная информация, пригласительные билеты и регистрация участников на сайте:
www.con-tech.ru, email: info@con-tech.ru

Тел./факсы в Санкт-Петербурге: +7 (812) 335-09-92, 335-09-91, 380-65-72, 703-71-85
Тел./факс в Москве: +7 (495) 580-54-36

УДК 658.567.1

А.А. КАЛЬГИН, д-р техн. наук, член-корр. РААСН, М.А. ФАХРАТОВ, д-р техн. наук, Московская государственная академия строительства и коммунального хозяйства;
В.И. СОХРЯКОВ, начальник центра технического развития и внешних экономических связей, ОАО «Россевзапстрой» (Москва)

Опыт использования отходов дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий

Для развитых европейских стран проблема утилизации строительных отходов стоит особенно остро. В 1976 г. была создана Европейской Ассоциации по сносу зданий (European Demolition Association – EDA), которая объединяет более 50 фирм из 17 стран. Многие страны Европы, например, Дания, Нидерланды, Швеция, где переработка строительных отходов превышает 90%, имеют законодательство, при котором вывоз отходов на полигоны либо невыгоден или вообще запрещен, и переработка становится не только экологически выгодной, но и экономически эффективной.

В СССР проблема переработки бетонного лома сформировалась в конце 1970-х гг. Расчеты тех лет показывали, что утилизация имеющихся отходов позволила бы вовлечь в хозяйственный оборот около 40 млн т бетонного лома и около 1,2 млн т металла, однако эти цели не были достигнуты.

На территории Российской Федерации построено около 260 млн м² панельных домов первых массовых серий. Только в Москве были построены панельные дома общей площадью около 36 млн м². Правительство Москвы предпринимало попытки приступить к реконструкции пятиэтажного жилищного фонда с 1989 г., но до середины 1990-х гг. эта работа не носила системного характера. В конце 1995 г. было принято решение о массовой реконструкции пятиэтажного жилья, в соответствии с которым была сформирована Программа реконструкции пятиэтажного и ветхого жилищного фонда. Программой предусматривался снос 6,5 млн м² зданий серий К-7 (3,16 млн м²), 1605-АМ (1,01 млн м²), 1МГ-300 (0,31 млн м²), П-32 (1,12 млн м²), П-35 (0,08 млн м²) и их модификаций (до 0,32 млн м²) в связи с физическим износом несущих конструкций. По данным Правительства Москвы на конец I квартала 2010 г. снесено 1257 домов площадью 4,6 млн м² или 72,7% от планируемого.

С началом массового сноса устаревших зданий в Москве ежегодно образуется до 1,5 млн т строительных отходов. Из них перерабатывается лишь небольшая часть, остальное вывозится на полигоны, либо скапли-

ваются на несанкционированных свалках.

На первый взгляд непосредственная переработка строительных отходов, образующихся при сносе морально и физически изношенных зданий и сооружений дорожке, чем изготовление щебня из горных пород. Это связано с необходимостью предварительной подготовки конструкций, использованием более мощного и дорогостоящего оборудования, извлечением арматуры. Однако при учете затрат, связанных с утилизацией строительных отходов (транспортные расходы, затраты на их захоронение, экономический ущерб от загрязнения земель, относительный экономический ущерб от выбросов вредных веществ при транспортных перевозках) вторичный щебень оказывается на 15–20% дешевле, чем природный [1].

Себестоимость переработки и качество вторичного щебня зависит от способа сноса зданий или сооружения, от вида дробильных установок, от организации сортировки материала перед дроблением и некоторых других трудноучитываемых факторов.

Для решения проблемы утилизации и переработки техногенных отходов (в том числе бетонных отходов) должна быть создана комплексная система управления рациональным использованием материальных ресурсов, предусматривающая постоянное развитие ресурсосберегающих методов хозяйствования.

Следует отметить, что недостаточный уровень переработки строительных отходов связан не только с проблемами в законодательстве и низким уровнем экологической культуры владельцев строительного бизнеса, но и с проблемой качественных характеристик вторичного щебня, спецификой его производства и использования.

При дроблении бетонного и железобетонного лома получается щебень, каждое зерно которого состоит из крупного природного заполнителя, окруженного цементно-песчаным раствором [2]. В работе был исследован вторичный щебень, полученный путем дробления лома железобетонных панелей снесенных пятиэтажных домов Москвы. Как видно на рисунке, в мелкой фракции вторичного щебня мало крупного первичного заполнителя, в то время как фракции 10–20 мм и 20–40 мм

Таблица 1

Свойства	Фракция			
	5–10	5–20	10–20	20–40
Истинная плотность, г/см ³	2,52	2,53	2,55	2,53
Средняя плотность, г/см ³	2,13	2,16	2,21	2,26
Насыпная плотность, т/м ³	1,34	1,32	1,33	1,36
Пористость, %	15,48	14,62	13,33	10,67
Пустотность, %	37,1	38,89	39,82	39,82
Водопоглощение, %	7,9	5,8	3,7	2,5
Влажность, %	3,5	3,5	3,6	3,6

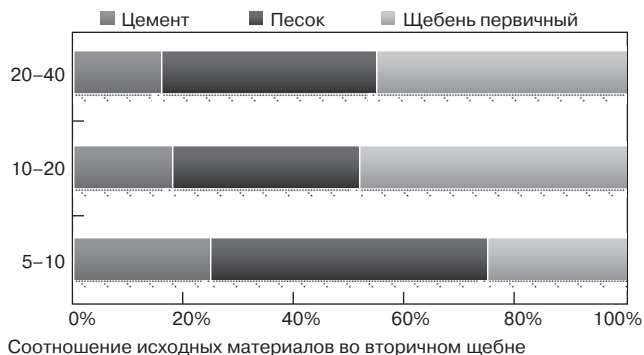


Таблица 2

Свойства	Щебень из плотных горных пород (гравийный)	Щебень вторичный	Щебень из пористых горных пород	Щебень перлитовый вспученный
Требования ГОСТ	8267–93	–	22263–76	10832–91
Средняя плотность, г/см ³	2,65	2,13	2	2,05
Марка прочности по дробимости	1000	400	400	400
Содержание пластинчатой и игловатой форм зерен, %	9,4	40	30	25,5
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,4	2,5	2,7	2,5
Морозостойкость, циклы	200	25	15	25
Водопоглощение, %	4	7,9	9,45	7,5

Таблица 3

Характеристика	Ед. изм.	Шифр состава		
		Контрольный образец	A-1	A-2
Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси				
Цемент	Кг	330	540	392
Щебень вторичный фр. 5–20 мм		–	960	1011
Щебень природный ГОСТ 8267–93		980	–	–
Песок		852	590	708
Вода		165	210	187
C-3		–	–	2,17
Водоцементное отношение В/Ц	–	0,49	0,39	0,48
Подвижность бетонной смеси (осадка конуса)	См	6–8	6–7	6–8
Марка по подвижности	–	П2	П2	П2
Средняя плотность бетонной смеси	кг/м ³	2327	2300	2300
Прочность при сжатии в возрасте:				
7 суток	МПа	27,1	25,4	25,4
28 суток		36,9	35,3	35,3
Прочность при изгибе в возрасте:				
7 суток	МПа	2,8	2,6	2,6
28 суток		3,8	3,6	3,6
Класс по прочности при сжатии	–	B25	B25	B25

приблизительно равны по соотношению заполнителей и вяжущего.

Исследование гранулометрического состава показало, что щебень из бетона фракции 5–20 мм и 10–40 мм удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных пород для строительных работ. Технические условия». Щебень из бетона по дробимости соответствует марке 400 и может быть использован для строительных работ и производства бетонов класса по прочности В30 и ниже. По истираемости щебень соответствует маркам И3 и И4. Морозостойкость щебня из бетона соответствует марке по морозостойкости от F15 до F125 в зависимости от фракции. Оценка однородности щебня из бетона по средней плотности и дробимости показала, что коэффициент вариации составляет 8%. Характеристики заполнителей из бетонного лома представлены в табл. 1.

Сравнительные характеристики щебня фракции 5–10 мм из различных материалов приведены в табл. 2.

Исследуя бетоны на вторичном щебне, подбирали составы с разными В/Ц отношением, с разной подвижностью бетонной смеси и испытывали полученные образцы (табл. 3). Полученный бетон на вторичном щебне по физико-техническим свойствам соответствует ГОСТ 25192–82* «Бетоны. Классификация и общие технические требования», ГОСТ 26633–91* «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

Приведенные данные показывают, что полученные бетоны не уступают свойствам обычных тяжелых бетонов на природном щебне. При этом бетон на вторичном щебне

дешевле, чем бетон на природном заполнителе в 1,35 раза.

Результаты исследований подтверждены промышленной апробацией на ряде предприятий ОАО «ДСК-1». В 2007 г. на Хорошевском заводе ЖБИ было выпущено 100 м² железобетонных поддонов для санитарно-технических кабин из бетона М200, на Ростокинском заводе ЖБК было выпущено 100 м² железобетонных плит лоджий из бетона М300, на Краснопресненском заводе ЖБК выпущено 100 м² плит внутренних стен из бетона М300. Экономическая эффективность от применения вторичного щебня составила в среднем 10,8%. Все изделия прошли контроль качества и были отправлены на строительные объекты для монтажа домов серии П44-ТМ.

Оценка качества строительных материалов из промышленных отходов может осуществляться в основном по действующим методикам с учетом МУ 2.1.674–97 «Санитарно-гигиеническая оценка стройматериалов с применением промотходов».

Однако во многих случаях без специальных дополнительных исследований оценить качество материалов невозможно. Необходимо развивать научные исследования и промышленные испытания, позволяющие шире вовлекать в экономику огромное количество промышленных отходов.

Список литературы

1. Кикава О.Ш., Соломин И.А. Переработка строительных отходов, М.: Сигнал, 2000. 84 с.
2. Баженов Ю.М. Способ определения составов бетонов различных видов, М.: Стройиздат, 1975. 268 с.

Д.В. ОРЕШКИН, д-р техн. наук, Московский государственный строительный университет

Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства

Развитие строительства в России должно осуществляться с учетом надежности, экологической и пожарной безопасности.

Известно, что надежность любого сооружения или конструкции складывается из надежности ее элементов, их однородности по структуре и свойствам [1]. При кладке на цементном растворе в ограждающих конструкциях из мелкоштучных элементов должно выполняться условие по теплотехнической однородности стены. Этого можно достигнуть при применении строительного раствора такой же средней плотности, как у материала блоков. Причем желательнее, чтобы средняя плотность раствора в рабочем свежеприготовленном состоянии не отличалась от плотности стенового материала. Следовательно, водопотребность раствора должна быть невысокой. Это позволит существенно снизить влажностные и усадочные деформации. Одинаковая средняя плотность затвердевшего раствора и материала блоков значительно повысит теплотехническую однородность стены. Коэффициент ее однородности при этом может приближаться к единице.

В настоящее время энерго- и ресурсосбережение – две важнейшие проблемы современного строительства. Строительство требует использования большого количества кладочных и штукатурных растворов. Однако традиционные облегченные цементные растворы имеют недостаточную однородность по средней плотности, низкую прочность при высоком В/Ц.

Решение проблем строительства может быть достигнуто путем использования сверхлегких цементных растворов, которые имеют высокие реологические свойства и однородность структуры, обеспечивают высокую эксплуатационную надежность за счет применения полых стеклянных микросфер и суперпластификатора.

Обобщение современных научно-технических достижений и нормативных требований позволило заключить, что однородность однослойных ограждающих стен при использовании мелкоштучных изделий и существующих кладочных и штукатурных растворов не может быть обеспечена. При кладке элементов со средней плотностью 500–600 кг/м³ на обычные растворы создаются мостики холода, существенно снижающие теплозащиту стены. Более того, термический коэффициент линейного расширения в элементах конструкции стены также значительно отличается. Все традиционные облегчающие заполнители и наполнители имеют очень высокую водопотребность, что приводит к увеличению расслаиваемости раствора и влажности камня. С учетом этих требований при их использовании невозможно получить среднюю плотность раствора в рабочем состоянии меньше 1000 кг/м³. Современные кладочные и штукатурные растворы имеют среднюю плотность значительно выше, чем материал стен. Это приводит к существенному снижению коэффициента однородности стены (вплоть до 0,5), что увеличивает расчетное сопротивление теплопередаче до двух

раз. Возрастают трудозатраты и материалоемкость стены за счет ее утолщения.

Сейчас разработаны научно-технические основы получения облегченных и сверхлегких цементных растворов со средней плотностью менее 1000 кг/м³ с наиболее эффективным облегчающим наполнителем – полыми стеклянными микросферами.

В исследованиях было предположено, что использование в кладочном и штукатурном сверхлегком цементном растворе полых стеклянных микросфер позволит повысить однородность стены, термическое сопротивление теплопередаче за счет снижения коэффициента теплопроводности, а также увеличит время его расстывания на подложке и водоудерживающую способность, улучшит теплотехнические показатели ограждающих конструкций стен.

В исследованиях прочность определялась на образцах-призмах с размерами 4×4×16 см.

В состав образцов входили цемент ПЦ 500-Д0 Стараоскольского завода, вспученный перлитовый песок (ВПП) завода «Стройперлит» (г. Мытищи) марки М-75, насыпной плотностью 75 кг/м³. Применялся вермикулит вспученный (ВВП) производства АООТ «ДЗТИ» (г. Дмитров) насыпной плотностью 130 кг/м³, а также полые стеклянные микросферы (ПСМС) со средним размером 25 мкм из натрийборосиликатного стекла, суперпластификатор С-3. ПСМС серийно выпускаются в России и имеют среднюю плотность 0,24–0,28 г/см³, прочность при объемном сжатии 10–20 МПа. Толщина стенки этих микросфер 1–3 мкм. Кладочные и штукатурные растворы имели погружение конуса ПК=4–8, 8–10 и 10–14 см. Свойства растворов приведены в табл. 1, 2, рис. 1.

Анализ структуры и свойств камня и кладочных растворов с полыми стеклянными микросферами, вспученными перлитовым и вермикулитовым песками (рис. 1) показал, что структура материала с ПСМС более плотная за счет снижения В/Ц более чем в 4 раза. Это обеспечивает существенное преимущество материала с ПСМС. Было произведено сравнение свойств растворов при примерно одинаковой средней плотности (от 1120 до 1170 кг/м³). Дальнейшее снижение средней плотности растворов с ВВП и ВПП невозможно из-за их

Таблица 1

Состав, мас. % 100% ПЦ+	В/Ц	Средняя плотность образца, г/см ³			Прочность, МПа	
		раствора	в 28 сут	сухого	изгиб	сжатие
30 ВВП	1,53	1,24	1,19	0,7	0,19	3,75
50 ВВП	2,61	1,14	1,12	0,55	0,08	1,4
30 ВВП	1,17	1,33	1,29	0,79	0,2	3,58
50 ВВП	1,9	1,17	1,16	0,6	0,1	1,42

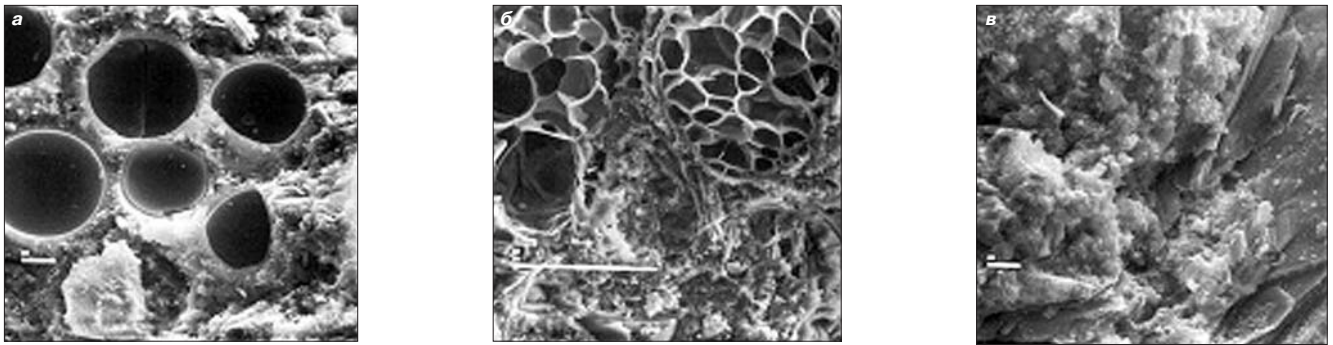


Рис. 1. Микроструктура цементного камня с ПСМС, вспученным перлитовым и вермикулитовым песками с одинаковой средней плотностью раствора: а – с 10 % ПСМС и СП; б – с 50 % ВПП; в – с 50 % ВВП

расслоения и значительного снижения прочности. Было доказано, что прочность при сжатии у камня с микросферами в 10 раз больше. Для прочности при изгибе кратность достигает более 40 раз. Влажность камня по массе с ПСМС в 4 раза меньше, чем у камня ВПП и ВВП, а водопоглощение ниже в 3 раза. Установлено, что при средней плотности раствора 700 кг/м³ средняя плотность камня с ПСМС в сухом состоянии 400 кг/м³, коэффициент теплопроводности 0,085 Вт/(м·°С). Данный материал имел прочность при сжатии в возрасте 28 сут – 3,2 МПа, при изгибе – 1,3 МПа, водопоглощение по массе 67,4 %, морозостойкость 25 циклов.

Было также выяснено, что пластическая прочность и напряжение сдвига у раствора с полыми стеклянными микросферами минимальны и обеспечивают низкие трудозатраты при кладочных и штукатурных работах. Установлено, что с увеличением расхода наполнителя пластическая прочность и напряжение сдвига при способности расстилаемости раствора на подложке снижаются. Раствор с ПСМС обеспечивает рабочее состояние

по показателю расстилаемости в течение 4–5 ч, что значительно выше таких показателей для раствора с перлитом (1,5–2,5 ч) и с вермикулитом (1,25–2 ч). Однако предельное значение пластической прочности у растворов с ПСМС при одинаковой средней плотности в 4,8–8 раз больше, чем у раствора с перлитом и вермикулитом (табл. 3, 4). Это обеспечивает монолитность стены во время схватывания и набора прочности. При расстилании растворов на основание из газобетона средней плотностью 700 кг/м³ время их рабочего состояния и реологические характеристики увеличиваются.

Была определена прочность сцепления строительных растворов на ВПП, ВВП и газобетоном с плотностью 500 и 700 кг/м³, а также полнотелым керамическим кирпичом. Прочность сцепления у камня с микросферами в 20 раз превышает такие значения у затвердевшего раствора с перлитом и вермикулитом за счет значительно более низкого В/Ц раствора и более плотной структуры камня. В результате исследований было выяснено, что растворы с микросферами имеют

Таблица 2

Состав, мас. % 100% ПЦ+	Плотность раствора, г/см ³	В/Ц	Влажность по массе, %	Водопоглощение по массе, %	Прочность, МПа	
					изгиб	сжатие
ПК 10–14 см						
10 ПСМС	1,05	0,61	28,9	33,8	3,5	11,5
30 ПСМС	0,95	1,1	49,6	60,1	1,2	3,2
50 ПСМС	0,85	1,85	74,5	82	0,9	1,9
10 ПСМС+СП	1,12	0,53	20	28,7	3,8	13,5
30 ПСМС+ СП	0,91	1	35	44	2	4,1
50 ПСМС+СП	0,8	1,65	59,1	72,2	1,05	2,3
ПК 8–10 см						
10 ПСМС	1,35	0,49	24,1	30,29	4,41	14,94
30 ПСМС	0,85	0,97	45,2	57,68	1,66	4,06
50 ПСМС	0,71	1,52	55,4	62,85	0,99	2,31
10 ПСМС+СП	1,39	0,4	22,5	25,83	4,94	15,97
30 ПСМС+ СП	0,82	0,67	30,1	40,23	2,59	6,34
50 ПСМС+СП	0,67	1,3	50,2	62,67	1,37	3,36
ПК 4–8 см						
10 ПСМС	1,41	0,38	20	25,2	4,95	16,5
30 ПСМС	0,85	0,76	41,3	47,6	2,1	4,8
50 ПСМС	0,71	1,26	51,4	54,1	1,1	2,6
10 ПСМС+СП	1,45	0,33	19,4	20,3	5,5	17,7
30 ПСМС+ СП	0,81	0,54	24,4	35,4	3,1	8,03
50 ПСМС+СП	0,65	1,05	38,3	42,3	1,6	4,3

Таблица 3

Состав, мас. % 100% ПЦ+	Предельная пластическая прочность, $\times 10^{-3}$ МПа раствора с ПК, см			Предельное напряжение сдвига, $\times 10^{-3}$ МПа раствора с ПК, см		
	4...8	8...10	10...14	4...8	8...10	10...14
10 ПСМС +СП	120 (360)	104 (390)	88 (420)	32 (360)	25 (390)	20 (420)
30 ПСМС +СП	76 (360)	52 (390)	51 (420)	22 (360)	22 (390)	16 (420)
50 ПСМС +СП	42 (360)	32 (390)	32 (420)	16 (360)	16 (390)	13 (420)

В скобках показано время определения показателя.

водоудерживающую способность более 90%. Это происходит благодаря поверхностной активности микросфер по отношению к воде затворения. При кладке мелкоштучных блоков такая водоудерживающая способность полностью обеспечивает качественные условия производства работ и набора прочности стены. Для растворов с ВВП и ВПП водоудерживающая способность гораздо ниже, что приводит к расслоению раствора и не обеспечивает достаточной его прочности после твердения. В работе установлено, что раствор с полыми стеклянными микросферами и суперпластификатором имеет лучшую однородность по средней плотности в отличие от растворов с ВВП, ВПП, имеющих большое водоотделение и расслаивание по высоте. У растворов с ПСМС водоотделения и изменения средней плотности раствора по высоте нет.

Было выявлено, что у строительных растворов все свойства зависят от расхода СП и микросфер. Теплозащитные свойства разработанного материала значительно вырастают при уменьшении его влажности благодаря тому, что коэффициент теплопроводности ПСМС равен 0,027 Вт/(м·°С).

Анализ структуры камня штукатурных и кладочных растворов с полыми стеклянными микросферами, вспученными перлитовым и вермикулитовым песками показал, что структура материала с ПСМС более плотная за счет существенно более низкого В/Ц. Так, при плотности раствора 1120 кг/м³ В/Ц меньше в 6 раз.

Было определено время стабилизации усадки. Для ячеистого бетона плотностью 400–500 кг/м³ оно составляет 2 недели, для кладочного раствора с ПСМС с погружением конуса 8–10 см – 3 недели, для штукатурного раствора с погружением конуса 10–14 см – 4 недели

Таблица 4

Состав, мас. % 100% ПЦ +	Средняя плотность раствора, г/см ³	Время расстилаемости, ч – мин	В конце расстилаемости	
			пластическая прочность, $\times 10^{-3}$ МПа	напряжение сдвига, $\times 10^{-3}$ МПа
10 ПСМС +СП	1,12	5–00	48	12
30 ПСМС +СП	0,85	4–30	20	6
50 ПСМС +СП	0,7	4–00	10	4
30 ВВП	1,33	1–30	16	14
50 ВВП	1,17	1–15	10	8
30 ВПП	1,24	2–00	16	12
50 ВПП	1,14	1–30	6	4

за счет более высокого водозатворения и низкого паропроницания растворов с ПСМС. Это позволяет строительным растворам с ПСМС более равномерно проходить период снижения влажности после кладки и штукатурки стен, что дает возможность формировать более прочную структуру цементного камня.

Прочность сцепления растворов с ПСМС с газобетонами марки D500 была равна прочности последнего на отрыв, а с газобетоном марки D700 была ограничена прочностью ячеистого бетона, но сцепление было уже в 10 раз больше. С керамическим кирпичом она резко возросла и достигла 4 и более МПа для камня с 10% ПСМС, а для камня с 10% ПСМС и СП – 4,5 МПа. Прочность сцепления камня с микросферами с основанием увеличивается при снижении подвижности раствора и уменьшается по мере роста расхода микросфер. Прочность сцепления растворов с ПСМС любого состава позволяет их использовать для оштукатуривания стен из ячеистого бетона средней плотности выше 500 кг/м³ и керамического кирпича. Результаты приведены в табл. 5.

Строительные растворы с ПСМС полностью соответствуют стандарту и имеют водоудерживающую способность более 90%. При сравнении растворов с погружением конуса 4–8 см, 8–10 см, 10–14 см было выяснено, что чем ниже содержание воды в растворе (меньше погружение конуса), тем выше водоудерживающая способность растворов с ПСМС. Это объясняется поверхностной активностью микросфер. В растворе с погружением конуса 4–8 см поверхностные силы микросфер, цементных частиц и новообразований обеспечивают водоудерживающую способность до 98%.

Была количественно оценена гелевая, капиллярная, воздушная пористость цементной матрицы в зависимости от состава и погружения конуса. Самая высокая гелевая пористость, самые низкие капиллярная и воздушная пористость определены у камня при погружении конуса 4–8 см. С увеличением погружения конуса и при повышении расхода микросфер гелевая пористость снижается, а капиллярная и воздушная возрастает. Причем гелевая пористость максимальна при расходе ПСМС 10% от массы ПЦ и равна 94% от всей пористости цементной матрицы. Установлено, что самая низкая гелевая пористость при расходе 50% ПСМС и погружении конуса 10–14 см. Это связано с количеством воды затворения. Все механические свойства у затвердевшего раствора с ПК = 4–8 см выше, чем у остальных растворов с ПСМС (табл. 6).

Были определены коэффициенты паропроницания и сопротивления паропроницанию растворов с ПСМС и СП с разной подвижностью (табл. 7).

Установлено, что коэффициент паропроницания снижался на 38% по мере уменьшения подвижности раствора. Рост сопротивления паропроницанию в этих условиях находится в пределах 20,1–28,2%. Следовательно, при таком паропроницании потери тепла через наружные стены и усадка при высыхании будут существенно ниже. Была выполнена проверка влагуудаления из конструкции стен – условия влагуудаления выполнялись.

Таким образом, на основании анализа научной литературы предлагаются положения для разработки облегченных, сверхлегких строительных растворов.

1. Целесообразность использования раствора в данной конструкции.

2. Технические требования к раствору.

Для кладочных, штукатурных растворов такими показателями являются [2, 3]:

- средняя плотность;
- однородность структуры в свежеприготовленном виде и при твердении;
- требуемая подвижность (по погружению стандартного конуса);

Таблица 5

Состав, мас. % 100%ПЦ+	Прочность сцепления, МПа, с газобетоном D500 раствора подвижностью			Прочность сцепления, МПа, с газобетоном D700 раствора подвижностью			Прочность сцепления, МПа, с керамическим кирпичом раствора подвижностью		
	4...8	8...10	10...14	4...8	8...10	10...14	4...8	8...10	10...14
10 ПСМС	0,056	0,054	0,053	0,638	0,557	0,493	3,485	2,72	2,125
30 ПСМС	0,054	0,053	0,051	0,578	0,544	0,451	1,87	0,952	0,85
50 ПСМС	0,053	0,052	0,049	0,553	0,523	0,425	0,935	0,621	0,51
10 ПСМС +СП	0,058	0,055	0,054	0,068	0,621	0,536	3,825	2,78	1,998
30 ПСМС +СП	0,056	0,054	0,053	0,612	0,587	0,502	1,87	1,573	1,275
50 ПСМС +СП	0,054	0,052	0,049	0,553	0,536	0,468	1,275	1,029	0,935

Таблица 6

Состав, мас. % 100%ПЦ+	Пористость затвердевшего раствора, %, при погружении конуса, см								
	4–8			8–10			10–14		
	матрицы	ПСМС	общая	матрицы	ПСМС	общая	матрицы	ПСМС	общая
10 ПСМС	9,6	18,9	28,5	11	21,8	32,8	12,6	25,1	37,7
30 ПСМС	25,5	27,2	52,7	29	31,8	60,8	33,3	36,5	69,8
50 ПСМС	36,5	31,8	67,3	42	36,3	78,3	46	42,1	88,1

Таблица 7

Состав, мас. % 100%ПЦ+	Погружение конуса, см					
	4–8		8–10		10–14	
	Коэффициент паропроницания, мг/(м·ч·Па)	Сопrotивление паропроницанию, м ² ·ч·Па/мг	Коэффициент паропроницания, мг/(м·ч·Па)	Сопrotивление паропроницанию, м ² ·ч·Па/мг	Коэффициент паропроницания, мг/(м·ч·Па)	Сопrotивление паропроницанию, м ² ·ч·Па/мг
10 ПСМС	0,0063	1,196	0,0076	1,015	0,0087	0,915
30 ПСМС	0,0254	0,35	0,0305	0,328	0,0351	0,273
50 ПСМС	0,0415	0,231	0,0498	0,2	0,0573	0,187

– сроки расстилаемости (по реологическим свойствам) и схватывания (по прибору Вика);
 – водоудерживающая способность (не менее 90%);
 – прочность при сжатии (не менее 1 МПа) и изгибе в возрасте 28 сут (не менее 0,5 МПа);
 – прочность сцепления штукатурного раствора с основанием в возрасте 28 сут (не менее 0,2 МПа для внутренних работ и не менее 0,4 МПа – для наружной штукатурки);
 – морозостойкость для кладочных растворов и наружных штукатурок (не менее 25 циклов).

3. Требуется учитывать, что, если средняя плотность раствора больше 1000 кг/м³, то увеличение воды затворения снижает среднюю плотность раствора [2, 3]. Если же средняя плотность раствора меньше 1000 кг/м³, то уменьшение воды затворения снижает и среднюю плотность раствора. Последнее обстоятельство делает применение супер- и гиперпластификаторов в таких цементных системах наиболее эффективным. У гиперпластификаторов, правда, есть существенный недостаток – нестабильность сроков схватывания.

На основании научных исследований были разработаны технические условия, технологические регламенты

на приготовление и применение кладочного и штукатурного растворов с полыми стеклянными микросферами.

Ключевые слова: облегченные строительные растворы, полые стеклянные микросферы, перлитовый и вермикулитовый песок.

Список литературы

1. Сахаров Г.П. Методологические основы материаловедения и технологии строительных материалов: Сб. науч. трудов ИСА МГСУ. М.: МГСУ, 2008. С. 18–22.
2. Кириллов К.И., Орешкин Д.В. Эффективные кладочные растворы: Сб. докл. научно-техн. конф. Строительная физика в XXI веке. М.: НИИСФ. 2006. С. 120–133.
3. Пашкевич А.А., Орешкин Д.В., Ляпидевская О.Б. Сухие строительные смеси с полыми микросферами // Сб. V межд. конф. Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов. Волгоград.: ВолГАСУ, 2009. С. 207–211.
4. Первушин Г.Н., Орешкин Д.В. Проблемы трещиностойкости облегченных цементных материалов. Ижевск: ИЖГТУ, 2003. С. 212.

В.П. ПЕТРОВ, д-р техн. наук, Самарский государственный архитектурно-строительный университет; С.А. ТОКАРЕВА, директор, ЗАО «НИИКерамзит» (Самара)

Формирование структуры особо легких пористых заполнителей

К особо легким пористым заполнителям авторы относят заполнители с насыпной плотностью 250 кг/м^3 и ниже. Такие заполнители, по мнению ряда исследователей, пригодны для получения легких конструкционно-теплоизоляционных бетонов плотностью до 600 кг/м^3 , из которых можно изготавливать стеновые однослойные панели с термическим сопротивлением $3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ и выше. При этом толщина панелей составляет всего $40\text{--}50 \text{ см}$ [1–2]. Сырьем для изготовления особо легких пористых заполнителей служат монтмориллонитовые глины и различные стеклосодержащие материалы: бой тарного стекла, шлаки тепловых электростанций, некоторые разновидности зол с малым содержанием углерода и горные стекловидные породы типа перлита и обсидиана. Помимо плотности к важным строительным характеристикам заполнителей относятся прочность, морозостойкость, стойкость к агрессивным средам и пр., которые, в свою очередь, зависят от структуры (строения) зерен заполнителей.

1. Структура зерен особо легких пористых заполнителей.

Пористые заполнители относятся к аморфно-кристаллическим веществам и являются достаточно сложными неравновесными системами, состоящими из газообразной, аморфной и кристаллической фаз. Каждая из составляющих оказывает существенное влияние на свойства заполнителей. Газообразная фаза слагает пористость заполнителя, аморфная и кристаллическая – его твердую фазу.

Структура пор. Вспученная гранула пористого заполнителя плотностью менее $0,4 \text{ кг/дм}^3$ (насыпная плотность 250 кг/м^3) при температуре вспучивания подобна пене, дисперсной фазой которой являются пузырьки газа, а дисперсионной средой – силикатный расплав. Пузырьки в пене разделены тонкими прослойками дисперсионной среды. Стенки, разделяющие поры, соединяются, образуя утолщения, которые в коллоидной химии называют треугольниками Плато. Плато установил, что в одном месте соединяются всегда три пенные пленки (три стенки пузырьков), которые образуют углы око-

ло 120° . Вследствие этого возникает капиллярное давление, вызывающее отсос жидкости из пленок к утолщенным местам соединений, и пенные пленки постепенно истончаются. Через некоторое время, различное для жидкостей разной вязкости, пенные пленки достигают очень малой толщины. Пузырьки приобретают форму многостенных клеток-сот. В таком состоянии пена долго находиться не может. Наружные, наиболее тонкие пленки через некоторое время начинают рваться одна за другой, и пена постепенно разрушается.

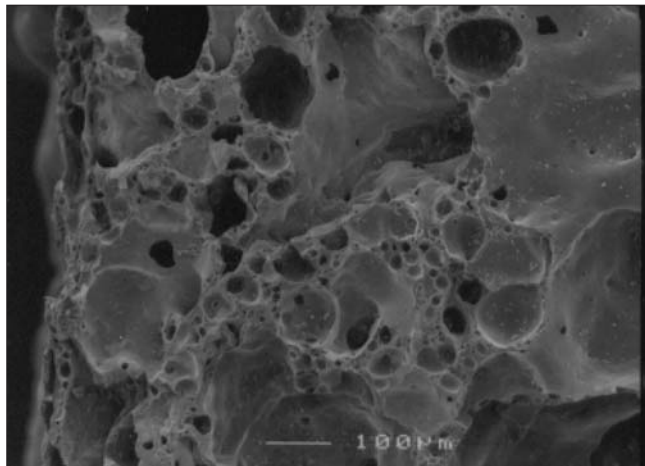
Образование и стабилизация пены осуществляется при участии поверхностно-активных веществ, которые могут находиться в расплаве или вводят в него специально. Адсорбционные слои, образуемые поверхностно-активными веществами, стабилизируют пенную пленку и замедляют вытекание из нее расплава. Вещества, стабилизирующие пены, называют пенообразователями или пеностабилизаторами. Они бывают двух типов: первые дают малоустойчивые пены со временем жизни до нескольких десятков секунд; вторые образуют стабильные пены, их называют детергентами, со временем жизни в минуты и даже часы. По мнению Б.К. Демидовича, наилучшими пенообразователями для силикатного расплава являются (в порядке возрастания положительного эффекта) тонко измельченные антрацит, кокс и сажа [3].

Важный фактор, влияющий на устойчивость пены, – концентрация стабилизатора на поверхности пленок, она должна быть оптимальной. При очень малых концентрациях стабилизатора устойчивость пены невелика. С повышением концентрации стабилизатора ее устойчивость растет, достигая максимума при некоторой величине, специфической для каждого детергента. Последующее увеличение концентрации детергентов не ведет к повышению устойчивости пены. Для пористых заполнителей типа керамзита, гранулированного пеностекла и шлакозита оптимальной можно считать концентрацию зерен графита порядка $0,15\text{--}0,2\%$ от массы гранул, что доказано специальными экспериментами, выполненными авторами. Это остаточное содержание графита в заполнителе.

В общем случае пористость зерен заполнителей состоит из ячеек крупного размера – макропористость ($0,03 \text{ мм}$ и более, видимых невооруженным глазом) и ячеек мелкого размера – микропористость (менее $0,03 \text{ мм}$, видимых под микроскопом), которую часто называют пористостью межпоровых перегородок. На рисунке показана структура шлакозита марки 250.

Объем ячеистой пористости зависит от пространственного расположения пор (упаковки), распределения по размерам (сочетания пор различных размеров), максимального размера пор, их формы и толщины межпоровых перегородок.

Наибольшие значения пористости достигаются в условиях геометрически правильной плотной укладки (упаковки) пор, к которым относятся гексагональная и гранецентрированная упаковки. Межпоровые перегородки, а также отклонение от идеальной гексагональной схемы упаковки пор уменьшают значения ячеистой пористости в зерне.



Структура шлакозита марки 250. Плотность зерна $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$

Таблица 1

Характеристика кристаллической фазы		Минимальная толщина межпоровой перегородки, мкм
Удельная поверхность, м ² /кг	Средний диаметр зерен, мкм	
50	46,15	150
100	23,08	70
200	11,54	30
400	5,7	15

Для гранул с последовательно убывающим размером пор от максимального D до минимального d при определенном отношении d/D решетки постепенно переходят из одинарных в бинарные, затем в тройные и n -мерные с постепенным возрастанием предела пористости. При четырехмерной решетке, $d/D = 0,225$, пористость гранул равна [4]:

$$P = K [D/(D + \delta)]^3, \quad (1)$$

где K – коэффициент, учитывающий степень деформации пор. Для ячеистой структуры с шаровыми порами $K = 0,812$.

Дальнейшее уменьшение $d/D < 0,225$ и переход от четырехмерных к n -мерным решеткам дают ничтожно малый прирост пористости. Таким образом, пористость 81,2% можно считать пределом плотной упаковки шаровых пор при их соприкосновении. Более высокая пористость гранул возможна лишь при деформации пор. Если бы поры одинакового размера были идеально деформированы в форму правильных многогранников, то величина пористости определялась бы выражением [4]:

$$P = [D/(D + \delta)]^3. \quad (2)$$

Реальная пористость особо легкого заполнителя равна промежуточному значению между рассчитанными по формулам (1) и (2).

Из формул (1) и (2) следует, что общая пористость гранул зависит прежде всего от диаметра наибольшей поры и средней толщины межпоровой перегородки. Пористость увеличивается при увеличении D и уменьшается при увеличении толщины перегородки. Увеличение диаметра пор согласно теории упругости увеличивает концентрацию напряжений в стенках пор по квадратичному закону. Поэтому снижение плотности пористых материалов необходимо обеспечивать за счет уменьшения толщины межпоровой перегородки (повышения количества пор), а не увеличения размера (диаметра) поры.

Минимально достижимая толщина межпоровой перегородки определяется средним размером частиц твердой фазы, плотностью упаковки частиц в расплаве и текучестью расплава, определяемой его вязкостью и поверхностным натяжением. К этому необходимо добавить, что образование перегородки толщиной, равной толщине одного зерна, маловероятно, а если она образуется, то прочность и устойчивость ее минимальны. Попытки снизить плотность гранул за счет уменьшения вязкости и поверхностного натяжения расплава в наших опытах вели к росту размера пор и резкому снижению прочности. Если предположить, что в межпоровых перегородках пористого заполнителя имеются зерна кварцевого песка, то минимально возможная толщина перегородок может достигнуть величин, приведенных в табл. 1.

В табл. 2 приведены значения насыпной плотности и пористости зерен гранулированного пеностекла и шлакозита, вспученных в лабораторных условиях. Под мик-

роскопом определены средние толщины межпоровых перегородок и диаметры наиболее крупных пор. Принимая, что пористость гранул определяется формулой (1), были вычислены коэффициенты K , значения которых также приведены в табл. 2. Деформация пор ($K > 0,812$) при толщине межпоровой перегородки, равной примерно 1 мкм, начинается тогда, когда удельный объем пор становится больше 80%, т. е. можно констатировать, что заполнители марок 250 имеют деформированные поры.

Кристаллическая фаза. Алюмосиликатные расплавы в момент вспучивания могут содержать твердые включения в виде первичных кристаллов кварца, полевых шпатов, а также кристаллов, образовавшихся в процессе разложения глинистых минералов, спекания, последующего нагрева и охлаждения расплава. Первичные кристаллы (кварц и пр.) могут быть размером до 100 мкм, кристаллы новообразований (муллит, шпинель, волластонит и пр.) – до 10–20 мкм. Силикатный расплав при получении гранулированного пеностекла не имеет кристаллических включений неорганического происхождения. Стабилизация пор в пеностекле осуществляется зернами графита, входящими в состав технической сажи, антрацита, кокса, размер которых на порядок (и более) меньше размера упомянутых кристаллов. Поэтому при прочих равных условиях (оптимальных режимах переработки шихты, гранулирования и термообработки) гранулированное пеностекло обладает более высокой прочностью по сравнению с керамзитовым гравием такой же плотности.

В общем случае кристаллическая фаза керамзита складывается из разрозненных кристаллов, часть которых относится к природным – первичным кристаллам, а часть – к новообразованиям, возникшим в период формирования пиропластической массы и при охлаждении вспученных гранул (магнетита, гематита, волластонита и пр.).

Тонкодисперсные примеси (до 1 мкм) таких минералов, как слюды, продукты диссоциации карбонатов, кварц, полевой шпат, как правило, переходят в расплав; более крупные частицы лишь частично растворяются в расплаве. Некоторые остатки зерен, не перешедшие в расплав, в небольшом объеме могут вписаться в вершины треугольников Плато без ухудшения микроструктуры керамзита. Крупные зерна более 5 мкм либо разрывают стенки пор, делая структуру заполнителя с крупными, сообщающимися порами, либо способствуют увеличению толщины межпоровой перегородки.

Таблица 2

Наименование заполнителя	Насыпная плотность, кг/м ³	Плотность зерен, кг/м ³	Пористость зерен, %	Коэффициент K по формуле (1)
Гранулированное пеностекло	105	167	93	0,96
	152	254	90	0,93
	207	334	86	0,89
	248	415	83	0,85
Шлакозит	204	335	87	0,89
	258	420	84	0,84
	301	506	80	0,83
	352	584	77	0,79

Высказанные соображения помогают более четко понять механизм взаимодействия твердых включений разного качества с силикатным расплавом. Очевидно, что размер (диаметр) твердого включения не должен быть больше половины толщины разделительной стенки в наиболее тонком месте. Только в этом случае возможно беспрепятственное перемещение расплава в стенке. В том случае, когда диаметры твердых включений, внесенных в расплав, имеют большую величину, чем половина толщины межпоровой стенки, они тормозят развитие элементов ячеек (уменьшают их вспучивание), поскольку возрастает необходимость дополнительных порций расплава на лечение дефектов в стенках пузырей. Чем больше размер кристаллов и выше их концентрация, тем выше вероятность разрыва пленок и слияния пор. Структура керамзита получается рваной с сообщающимися порами. Заполнитель с такой структурой отличается высоким водопоглощением и низкой прочностью. При затвердевании расплава кристаллы, зафиксированные в стенках пор, являются концентраторами напряжений, и это также снижает прочность заполнителя.

Кристаллы кварца, муллита, шпинели, магнетита и др. хорошо смачиваются расплавом, и поэтому они располагаются в стенках пузырей. Частицы сажи, молотых антрацита и кокса плохо смачиваются и выдавливаются расплавом на внутреннюю поверхность газовых пузырьков и, как было сказано выше, являясь детергентами, стабилизируют пену. Углерод в виде сажи кокса или антрацита является главным пенообразователем (газообразователем) таких материалов, как стеклозит, шлакозит, керамзит.

Кристаллизация гематита на поверхности гранул, безусловно, увеличивает и толщину корочки, и плотность гранул, но образующаяся корочка предотвращает слипание гранул друг с другом. С этой точки зрения данное явление следует считать положительным, поскольку отпадает необходимость в применении специальных мер по предотвращению слипания гранул в процессе обжига, например опудривания гранул огнеупорным порошком. Многочисленные исследования показывают, что устойчивая пленка из кристаллов гематита на поверхности гранул образуется при содержании оксидов железа в алюмосиликатном расплаве более 5%.

Итак, в легких пористых заполнителях (насыпной плотностью менее 250 кг/м³) стекловидная фаза не должна иметь кристаллических включений, кроме гематита на поверхности зерен.

Алюмосиликатный расплав, содержащий кроме оксидов алюминия оксиды титана, железа, магния и других элементов, способствующих кристаллизации расплава и затвердевшего стекла, при медленном охлаждении, безусловно, будет кристаллизоваться на всех этапах охлаждения. В общем случае кристаллизационная способность стекловидной фазы керамзита зависит от следующих факторов: степени связности кремнекислородного каркаса, координационного состояния, валентности катионов и скорости охлаждения. Для средних условий охлаждения пористого заполнителя (около 40 град/мин) были выработаны следующие правила получения некристаллизующегося расплава.

Алюмосиликатное стекло пористых заполнителей не кристаллизуется, если оксиды входят в его состав либо в качестве модификаторов, либо в качестве стеклообразователей. При этом общий молярный объем Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, FeO, Na₂O, K₂O, CaO и MgO должен находиться в пределах 33–40% – первое правило. Нижний предел – условие вспучивания гранул при температурах ниже 1200°C; верхний – условие получения заполнителей, стойких к агрессивным средам.

Оксиды Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃ в качестве стеклообразователей с координационным числом 4 входят в состав

силикатного стекла в том случае, если сумма их молей будет меньше суммы молей активных модификаторов, т. е. $(Fe_2O_3 + TiO_2 + Al_2O_3) / (K_2O + Na_2O + CaO) = M_1 < 1$ – второе правило.

Сумма молей Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃ не должна превышать 25% объема молей SiO₂; $M_2 = (Fe_2O_3 + TiO_2 + Al_2O_3) / SiO_2 < 0,25$ – третье правило – дополнительное условие химической стойкости заполнителей.

Оксиды FeO, MgO А.А. Аппен относит к интермедиатам-модификаторам, для которых характерны свойства модификаторов, но с ковалентно-ионными связями [1]. Для предварительной оценки вполне допустимо относить FeO и MgO к модификаторам, но при условии, что сумма их молей не превышает сумму молей активных ионов натрия, калия и кальция, т. е. $(FeO + MgO) / (K_2O + Na_2O + CaO) = M_3 \leq 1$ – четвертое правило.

Наконец, важным показателем, характеризующим устойчивость силикатных стекол против кристаллизации, является отношение суммы молей щелочных к сумме молей щелочно-земельных оксидов. Это отношение не должно выходить за пределы 0,5–1,5 – пятое правило ($0,5 \leq M_4 \leq 1,5$).

2. Формирование структуры пористых заполнителей.

Образование газовой фазы. Согласно М.И. Роговому пористые заполнители вспучиваются при соблюдении следующих условий:

- керамическая масса приведена в состояние определенного размягчения, при котором под действием газовой фазы способна расширяться, т. е. часть или весь силикатный материал переведен в расплав определенной вязкости с определенным поверхностным напряжением, которое способно удерживать газы;
- в расплаве образуются газы, которые производят работу по вспучиванию гранул;
- первое и второе условия должны происходить практически одновременно, в небольшом температурном интервале;
- силикатный расплав имеет поры или условия для возникновения пор, где могут скапливаться газы;
- объем силикатного расплава должен превышать некоторую минимальную величину, достаточную для образования пор заданного объема.

Условия размягчения керамических масс. Механизм перехода глин в пиропластическое состояние большинство исследователей представляют следующим образом. В первый период нагрева от 20 до 200°C происходит удаление свободной и физически связанной воды. При температуре 400–600°C начинается и при температуре 800–900°C заканчивается дегидратация глинистых минералов. Структура безводных глинистых минералов сохраняется до температуры 800–1000°C. При дальнейшем нагреве образуются разнообразные кристаллические фазы (шпинель, муллит и пр.). Ряд исследователей приводит данные, согласно которым при обжиге монтмориллонитов, богатых оксидами железа, натрия и калия, кристаллизации муллита и шпинели не происходит. В таких системах уже при температуре 700–800°C появляется жидкая фаза за счет наиболее легкоплавких эвтектик и соединений. Количество жидкой фазы непрерывно увеличивается за счет как появления при более высокой температуре все новых и новых эвтектик, так и взаимодействия уже образовавшейся жидкой фазы с кристаллическими составляющими. Система при этом обогащается расплавом переменного состава. С появлением определенного количества жидкой фазы материал приобретает способность пластически деформироваться. Пиропластическая масса, в состав которой входят в том числе твердые, нерастворившиеся компоненты, приобретает подвижность, а затем и текучесть. Такая

масса при возникновении газовой фазы с определенным давлением способна вспучиваться.

Глины и стеклосодержащие материалы (золы и шлаки ТЭС и пр.) не имеют определенной температуры плавления. Кристаллическая решетка разных минералов, содержащихся в глине, разрушается в интервале температуры, внутри которого происходит уменьшение кристаллической и нарастание жидкой фазы и переход материала из твердого состояния в жидкое. Этот интервал принято называть интервалом размягчения, а в технологии керамзита – интервалом вспучивания. Верхний его предел – температура, при которой пиропластическая масса из-за низкой вязкости не способна удерживать в своем составе газообразную фазу. Нижний предел – температура, при которой определенная часть твердой фазы перешла в жидкоподвижное состояние, в нем возможно образование пор под давлением газовой фазы. Чем шире интервал вспучивания, тем благоприятнее условия для формирования пористой структуры. Наоборот, при коротком интервале технические трудности вспучивания могут оказаться непреодолимыми.

Важнейшими характеристиками алюмосиликатного расплава являются вязкость и поверхностное натяжение.

Вязкость силикатных расплавов. Для перевода кристаллического вещества в стеклообразное состояние необходимо его расплавить, а полученный расплав затем переохладить. Отвердевают в виде стекол при понижении температуры лишь те переохлажденные жидкости, вязкость которых быстро и непрерывно возрастает на много порядков, например от нескольких Па·с до 10^{14} Па·с. Вязкость расплавов – главный фактор, характеризующий их способность переходить в стеклообразное состояние. Именно высокая вязкость в интервале температуры кристаллизации является основной, хотя и не единственной причиной, предопределяющей склонность расплавов застывать в виде стекла.

При получении пористых заполнителей алюмосиликатные расплавы в зависимости от температуры, химического состава и кристаллизационных свойств могут находиться как в истинно жидком, так и в структурированном состоянии.

Согласно Б.К. Демидовичу вспучивание пеностекла происходит при вязкости пеносиликатного расплава порядка 10^5 Па·с. Измерение вязкости он проводил на ротационном вискозиметре. Вязкость невспученного силикатного расплава при температуре вспучивания составляла 10^6 Па·с. По М.П. Элинзону вспучивание доменных шлаков происходит при вязкости расплавов порядка 20–1000 Па·с.

Большинство исследователей вязкость легкоплавких вспучивающихся и невспучивающихся глин, зол и шлаков определяли на вискозиметре «ОРГРЕСС». Исследования, выполненные на базе ЗАО «НИИКерамзит», показали, что на вискозиметре «ОРГРЕСС» можно зафиксировать вязкость пиропластического материала только в том случае, если она превышает величину 10^8 Па·с. Более низкие значения вязкости получены экстраполяцией кривых вида $\eta = A \cdot \exp(V/T)$ в область более высокой температуры. Анализ экстраполированных данных позволил В.В. Еременко, С.П. Онацкому, Л.Л. Волчку и ряду других исследователей утверждать, что вспучивание гранул керамзита и его аналогов происходит в интервале температуры, которому соответствует интервал вязкости расплава 10^7 – 10^8 Па·с.

Предложен ряд как теоретических, так и эмпирических формул, выражающих зависимость вязкости силикатных расплавов от химического состава, однако ни одна из них не может считаться удовлетворительной для широкой области температуры и составов. Известно, что кремнезем и глинозем повышают вязкость; оксиды

натрия и калия, наоборот, ее понижают. Влияние СаО сложно: при температуре ниже линии ликвидуса СаО повышает, а при более высоких температурах понижает вязкость расплава; оксиды магния и железа понижают вязкость. Согласно С.П. Онацкому вязкость расплава повышается в следующей последовательности: $Na_2SiO_2 \rightarrow K_2SiO_2 \rightarrow FeO \times SiO_2 \rightarrow MnO \times SiO_2 \rightarrow MgO \times SiO_2 \rightarrow CaO \times SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 \times SiO_2$ [5].

Вязкость значительно снижается в восстановительной среде, а также при распаде ассоциированных комплексов или их диссоциации. Большое влияние на вязкость оказывает смачивающая способность компонентов.

Поверхностное натяжение. Важную роль при образовании ячеистой структуры вспученных материалов играют развивающиеся на границах твердой, жидкой и газообразной фаз поверхностные явления, характеристической которых служит поверхностное натяжение, выражающее работу, необходимую для создания 1 см² новой поверхности расплава.

Поверхностное натяжение зависит от вида и соотношения основных фаз, а также от примеси поверхностно-активных веществ, например С, Sr₂O₃, WO₃ и др. Наличие в глинах поверхностно-активных веществ или специальная их добавка снижает поверхностное натяжение на десятки процентов. Появление и расширение пузырьков газа при вспучивании глин связаны с образованием огромного количества новых поверхностей.

Возникшие в расплаве зародыши пузырьков газа способны увеличиваться в размерах только после достижения определенного критического радиуса. При этом их существование в расплаве определяется выражением:

$$P = P_0 + 2\gamma/r, \quad (3)$$

где P – давление газа внутри пузырьков, Па; P_0 – давление в окружающей атмосфере, Па; r – радиус пузырька, м; γ – поверхностное натяжение Н/м.

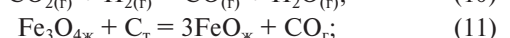
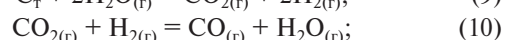
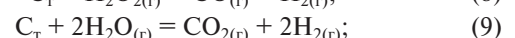
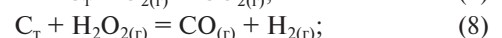
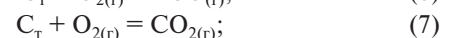
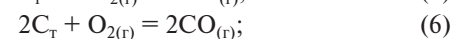
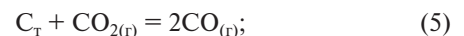
Таким образом, в пузырьке действует дополнительное давление, которое равно:

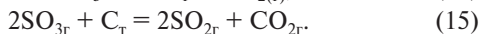
$$\Delta P = 2\gamma/r. \quad (4)$$

Согласно С.П. Онацкому [6] поверхностное натяжение алюмосиликатного расплава при температуре 1100–1200°С для различных глин равно: $\sigma = 0,337$ – $0,365$ Н/м. По Аппену [1] поверхностное натяжение силикатных расплавов находится в пределах от 0,22 до 0,42 Н/м.

Образование газовой фазы при вспучивании гранул. Экспериментальное изучение состава газовой фазы во вновь вспученных гранулах керамзита проводили С.П. Онацкий, А.Н. Рязанцев, В.В. Еременко, Б.В. Шаль, А.В. Жуков, Г.И. Книгина и многие другие исследователи. Несмотря на некоторое различие, применяемые методики близки друг к другу. Их основная сущность сводится к отбору газов из вспученных гранул и последующему анализу химического состава газов с помощью хроматографа.

Большинство исследователей в составе газов пор керамзита обнаружили CO, CO₂, SO₂, H₂O (пары воды), O₂ и N₂. Указанные составляющие газовой фазы могут быть продуктами следующих реакций:





Проверка осуществимости данных реакций производилась с помощью изобарно-изотермического потенциала. Термодинамические расчеты показывают, что самопроизвольное течение реакции (5) возникает при достижении системой температуры 1000°K (727°С) и выше; реакция идет с поглощением тепла. Термодинамическая вероятность протекания реакций (6) и (7) велика на всем рассмотренном температурном интервале (от 600 до 1400°K). Самопроизвольное течение реакции (8) начинается с температуры, близкой к 1000°K, а реакции (9) – с температуры, близкой к 1600°K (примерно 1327°С). Реакции (5)–(8) осуществимы, если имеется доступ печных газов к внутренним частям гранул. В хорошо вспученных гранулах такая возможность исключена. Поэтому газы, возникающие по реакциям (5)–(8), не участвуют во вспучивании гранул особо легкого керамзита.

Появление O₂ и N₂ в порах охлажденного керамзита, по всей вероятности, вызвано их диффузией в гранулы из внешней среды (печного пространства).

Поскольку формирование пористой структуры искусственных заполнителей заканчивается при температуре ниже 1300°С, реакцию (9) можно не рассматривать как потенциально возможную. Реакция (10) протекает при температурах ниже 600°С с поглощением тепла, т. е. она является эндотермической. Приращение энтальпии в интервале температуры 600–1500К составляет 25–40 кДж/моль. Диссоциация карбонатов проходит при температуре 880–950°С. Продукт этой реакции (CO₂) несомненно участвует во вспучивании гранул гранулированного пеностекла (вспучивание идет при температуре 800–950°С). Однако участие этих газов во вспучивании керамзита маловероятно.

В присутствии углерода реакции (11) и (12) могут проходить при температуре существенно ниже температуры появления расплава. Однако более интенсивно они идут при температуре вспучивания гранул за счет прямого взаимодействия расплавов Fe₃O_{4ж} и FeO_ж с твердым углеродом.

Термодинамический анализ взаимодействия углерода с сернистыми натрием (реакция (14)) выполнил Б.К. Демидович [3]. Термодинамическая вероятность реакции (15) велика на всем рассматриваемом температурном интервале.

Таким образом, термодинамические расчеты показывают, что основными реакциями, дающими газы, которые участвуют во вспучивании гранулированного пеностекла, являются реакции (13)–(15). Во вспучивании гранул керамзита участвуют продукты реакций (11)–(13) и (15) и при определенных условиях – продукты реакций (8) и (10). Газообразными продуктами указанных реакций являются: CO, CO₂, H₂ и H₂O. Помимо этих газов в порах гранул могут присутствовать азот и кислород, поступающие в печь вместе с дымовыми газами, что и было обнаружено некоторыми учеными.

Механизм вспучивания гранул керамзита. Возникшие в расплаве зародыши пузырьков газа способны увеличиваться в размерах только после достижения определенного критического радиуса.

Поверхностное натяжение силикатного расплава можно рассчитать по формуле Аппена:

$$y = 2k_i y_i, \quad (16)$$

где k_i – содержание i -го оксида в расплаве в молярных долях; y_i – парциальная молярная величина, характе-

ризующая поверхностное натяжение i -го оксида в расплаве, Н/м.

Поверхностное натяжение при температуре 1200°С, рассчитанное по формуле (3), составляет 0,375 Н/м, что близко к значениям, полученным различными исследователями для аналогичных материалов (стекло, шлаков).

Для того чтобы пузырек не «захлопнулся», давление в нем должно быть не меньше $P = P_{ат} + \Delta P$, где $P_{ат}$ – атмосферное давление. Увеличение пузырька начинается после поступления в него новых порций газов, образующихся в результате химических реакций взаимодействия газообразователей с расплавом. При неизменном поверхностном натяжении возникающие в расплаве пузырьки газа с радиусом меньше критического не могут расширяться и производить эффект вспучивания. Если же поверхностное натяжение будет уменьшено, то эти пузырьки начнут быстро увеличиваться в размерах, которые превысят критический радиус и окажутся эффективными для вспучивания. На образование пузырьков газа во вспучивающихся массах существенное влияние оказывают фазовый состав среды и смачиваемость кристалликов графита. Известно, что внутри гомогенных жидкостей пузырьки газа не образуются. Содержащиеся в них газы растворяются или полностью удаляются в процессе нагревания. Чтобы при бесконечно малом радиусе в момент зарождения мог образоваться пузырек газа, начальное его давление должно быть бесконечно большим. Поэтому в расплавах газы скапливаются и задерживаются только в закрытых порах или на поверхности частиц твердых фаз, каковыми могут быть, например, гидрофобные частицы графита. Чем слабее эти частицы смачиваются, тем лучше будут условия для образования и накопления пузырьков. При совершенной смачиваемости твердых частиц расплавом размер пор сокращается и активными окажутся лишь те из них, радиус которых выше критического.

Специальными экспериментами В.Т. Титовская [7] установила, что у вспученных гранул керамзита поры минимального размера имели радиус 10⁻⁷ м. Можно допустить, что пузырьки меньшего размера «захлопнулись», а большего – увеличились под влиянием дополнительного давления. Диаметр пузырька ($d = 10^{-7}$ м = 0,1 мкм) можно принять за минимально возможный (критический). Тогда критическое давление газов в пузырьке $d = 1 \cdot 10^{-7}$ м по формуле (3) будет равно:

$$P_{кр} = 101325 + 2 \cdot 0,375 / 1 \cdot 10^{-7} = 7601325 \text{ Па.}$$

Это давление примерно в 7 раз больше атмосферного. По данным Титовской, в керамзите объем пор с критическим радиусом составляет 0,5–3%. Как было показано выше, желательно, чтобы наибольший диаметр пор у гранул пористого заполнителя не превышал 1 мм ($r = 0,5$ мм). Давление газов в порах диаметром 1 мм равно:

$$P_{кр} = 101325 + 2 \cdot 0,375 / 0,5 \cdot 10^{-3} = 102825 \text{ Па,}$$

т. е. оно не очень отличается от атмосферного.

Среднее расчетное давление газов в порах в момент вспучивания составляет примерно 550000–650000 Па (5,5–6,5 атм). После охлаждения гранул давление в порах уменьшится и, считая, что размер пор не изменится, согласно закону Шарля (при температуре 25°С) оно будет равно:

$$P_{298} = P_{1473} \cdot (T_{298} / T_{1473}) = 600000 \cdot (298 / 1473) = 121385 \text{ Па,}$$

где P_{298} и P_{1473} – давления газов соответственно при температурах 298 К (25°С) и 1473К (1200°С); T_{298} и T_{1473} –

температура соответственно после охлаждения гранулы и в момент ее вспучивания, К.

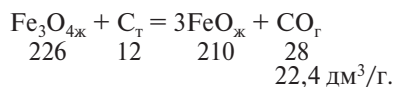
Это давление превышает атмосферное (при нормальных условиях) в $121385/102325 \approx 1,2$ раза.

Опыты И.А. Иванова и Н.И. Макридина подтверждают, что гранулы керамзита и других пористых заполнителей находятся в напряженном состоянии [8]. Видимо, главная причина этого явления — остаточное давление газов внутри пор.

Необходимо отметить, что возникновение начальных пор возможно не только благодаря процессам спекания первичных твердых (кристаллических и аморфных) частиц на первой стадии термической обработки гранул. Оно возможно и в расплавленной системе на границе раздела между зернами графита и расплавом.

Подытоживая изложенное, можно резюмировать следующее:

- основными источниками газов, участвующих во вспучивании пористых заполнителей типа керамзита, являются реакции взаимодействия графита с ионами железа и серы, входящими в состав алюмосиликатного расплава;
- $Fe_3O_{4ж}$ и $FeO_{ж}$ входят в силикатный расплав в виде катионов, связь которых с кислородом носит гетерополярный характер. Величина энергии этой связи существенно ниже ковалентной связи катионов Si^{4+} и Al^{3+} с кислородом. Если принять, что единственным источником образования газов является реакция (11), можно рассчитать начальное количество углерода и оксида железа, необходимое для вспучивания гранулы, например шлакозита:



Во втором ряду приведены молярные массы, а в третьем — молярный объем CO , который, собственно, и производит работу вспучивания.

Плотность расплава примем равной $2,5 \text{ г/см}^3$, а плотность вспученной гранулы шлакозита $\rho_{ш} = 0,333 \text{ г/см}^3$. Пористость такой гранулы равна $P = 87,7\%$. Гранула шлакозита диаметром 2 см имеет объем $V_{гр} = 4,19 \text{ см}^3$; массу $m_{гр} = 1,4 \text{ г}$; объем пор $V_{пор} = 3,67 \text{ см}^3$.

Допустим, что после спекания объем пор в грануле равен нулю, тогда потребное количество газа для вспучивания равно $3,67 \cdot 1,2 = 4,41 \text{ см}^3$. Отсюда нетрудно подсчитать количество углерода и оксидов железа, необходимое для получения пористого заполнителя марки 250: $C = 0,002 \text{ г}$, или $0,14\%$; $Fe_3O_4 = 0,041 \text{ г}$, или 3% ;

- еще больший выход газообразных продуктов образуется при взаимодействии углерода с серосодержащими элементами в расплаве, например по реакции (15).

Безусловно, часть газов удаляется из гранул, особенно в период, предшествующий образованию в них пиропластического расплава. Кроме того, часть зерен углерода, особенно переосажденного — сажистого, адсорбируется на стенках пор, не удаляется даже при очень высокой температуре и поэтому не участвует в реакциях с образованием газов. Эту часть сажистого углерода можно вычислить. Для среднего размера поры в грануле, равного 1 мм , и удельной поверхности сажистого углерода $S_y = 100000 \text{ см}^2/\text{г}$ при условии, что зерна графита располагаются на поверхности поры в один ряд, количество графита в грануле равно $0,12\%$ от массы гранулы. По нашим экспериментальным данным, совпадающим с результатами экспериментов С.П. Онацкого и В.В. Еременко, содержание остаточного углерода в гранулах керамзита составляет $0,1-0,3\%$.

Выводы

1. Для получения особо легких пористых заполнителей марок 250 и ниже необходимо применять глины монтмориллонитового состава или стекловидные отходы промышленности типа боя строительного или тарного стекла, шлаков жидкого удаления ТЭС и разновидности зол с малым содержанием несгоревших угольных частиц.

2. Кристаллическая фаза снижает прочность особо легких заполнителей независимо от периода ее возникновения в технологическом процессе.

3. Для средних режимов термической обработки гранул керамзита разработаны рекомендации по выбору сырья заданного химического состава, при котором обеспечивается наименьшая вероятность кристаллизации расплава и стекловидной составляющей керамзита.

4. Произведены термодинамические расчеты реакций, при реализации которых потенциально возможно образование газообразных продуктов. Расчетами и теоретическим рассмотрением механизма реакций доказано, что основными газообразными продуктами, участвующими во вспучивании керамзита, являются CO , CO_2 , H_2 и H_2O , образовавшиеся в результате реакций (11)–(13) и (15), и при определенных условиях — продукты реакций (8) и (10); газы, участвующие во вспучивании гранулированного пеностекла, образуются по реакциям (13)–(15).

5. Вспучивание гранул (керамзита и гранулированного пеностекла) происходит при вязкости расплава или пиропластической массы при вязкости $\eta = 10^6-10^8 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Вспучивание начинается с накопления газообразных продуктов реакций в порах, образованных на стадии спекания твердых частиц или созданных благодаря реакциям взаимодействия углерода с ионами железа или серы, входящими в состав расплава.

Ключевые слова: керамзит, легкий пористый заполнитель, термическое сопротивление, монтмориллонитовые глины, вспученная гранула.

Список литературы:

1. Аппен А.А. Химия стекла: монография /А.А. Аппен. Л.: Химия. 1974. 351 с.
2. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 399 с.
3. Демидович Б.К. Пеностекло: монография. Минск: Наука и техника, 1975. 247 с.
4. Максимов Б.А., Коренькова С.Ф., Петров В.П. Влияние кристаллизации на свойства шлакозита // Изв. выс. учебных заведений. Строительство и архитектура. 2004. № 4. С. 61–65.
5. Онацкий С.П. Производство керамзита: монография. М.: Стройиздат, 1987. 333 с.
6. Петров В.П. Пористые заполнители для конструктивно-теплоизоляционных бетонов // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: материалы III международной научно-практической конференции. РИЦ РГСУ. Ростов-на-Дону. 2004. Том 2. С. 481–490.
7. Титовская В.Т. Исследование формирования структуры керамзитового гравия // Строит. материалы. 1977. № 9. С. 30–33.
8. Иванов И.А., Макридин Н.И., Гучкин И.С. О физических параметрах деформативного состояния гранул керамзита и бетона на его основе. Структура, прочность и деформация легкого бетона. Материалы координационного совещания. М: Стройиздат, 1973. С. 213–222.

УДК 666.9.015.42

В.В. БАБКОВ, д-р техн. наук, Р.Р. САХИБГАРЕЕВ, канд. техн. наук,
 Ром.Р. САХИБГАРЕЕВ, инженер (stextex@mail.ru),
 А.Е. ЧУЙКИН, инженер, Уфимский государственный нефтяной технический университет
 (ГОУ ВПО УГНТУ); В.В. КАБАНЕЦ, директор
 НП «Организация производителей бетона и железобетона РБ»

Роль аморфного микрокремнезема в процессах структурообразования и упрочнения бетонов

В реакциях гидратации и перекристаллизации клинкерных фаз портландцемента (ПЦ) наряду с основными фазами – гидросиликатами (ГСК), гидроалюминатами, гидросульфалоюминатами кальция характерно образование гидроксида кальция (СН) (табл. 1, 2) [1].

Гидроксид кальция, являясь важным фактором обеспечения коррозионной стойкости арматуры в железобетоне, формирует необходимую для этих целей щелочность среды на уровне рН 11,8–12,5 [2, 3]. Как правило, количество образовавшегося СН превышает требуемое количество для обеспечения необходимого уровня рН, и цементный камень (ЦК) имеет определенный резерв СН, который может быть использован в других полезных направлениях. Одно из таких направлений реализуется применением в технологии бетона добавок-модификаторов серии МБ, содержащих до 80–90% активного диоксида кремния SiO_{2акт}, обычно в виде ферросилиция в сочетании с добавкой суперпластификатора (СП). Такая комплексная добавка не только пластифицирует и водоредуцирует бетонную смесь, но и частично связывает в ГСК механически слабую крупнокристаллическую фазу СН, существенно упрочняя

структуру ЦК и бетонов на ее основе. Реакция взаимодействия СН и SiO_{2акт} идет с образованием ГСК практически без увеличения объема твердой фазы при коэффициенте изменения объема v₀ в этом процессе порядка единицы (табл. 3), что особенно благоприятно для водоредуцированных систем на поздних стадиях твердения, когда исчерпывается резерв капиллярного пространства и процесс происходит с приростом фазы – носителя прочности в безраспорном режиме, то есть без формирования внутренних напряжений в отличие от прямых реакций гидратации клинкерных фаз (табл. 1) [1].

Эти особенности позитивного влияния аморфного микрокремнезема на прочность подтверждаются выполненной обработкой результатов экспериментов, представленных в работе В.Ф. Степановой, С.С. Каприелова, А.В. Шейнфельда [3] по бетонам, запроектированным при равном расходе вяжущего V=350 кг/м³ в виде комбинаций (Ц+МК), при одинаковом В/В=0,44 и одинаковых заполнителях при регулировании подвижности бетонных смесей суперпластификатором С-3 с использованием трех марок МК при содержании диоксида кремния 92, 67 и 45% соответственно. Содержание

Таблица 1

№ пп	Реакции гидратации	Химически связанная вода	Вяжущее (исходный продукт)		Продукты гидратации (перекристаллизации)		Коэффициент v ₀
			Молекулярная масса	Плотность, г/см ³	Молекулярная масса отдельных компонентов и всех продуктов	Плотность отдельных компонентов, г/см ³	
1.1	C ₃ S + 13/6H = = C ₂ SH _{1,17} + СН (гиллебрандит)	0,171	228,32	3,15	193,26 +74,1 267,36	2,64 2,24	1,458
1.2	C ₂ S + 3H = = 1/2(C ₃ S ₂ H ₃) + 3/2СН (афвиллит)	0,237	228,32	3,15	171,29 +111,14 282,43	2,64 2,24	1,569
1.3	C ₃ S + 13/6H = = 1/3(C ₄ S ₃ H _{1,5}) + 5/3СН (фошагит)	0,171	228,32	3,15	143,88 +123,48 267,36	2,67 2,24	1,493
1.4	C ₃ S + 13/6H = = 1/6(C ₆ S ₆ H) + 2СН (ксонотлит)	0,171	228,32	3,15	119,18 +148,18 267,36	2,69 2,24	1,51
1.5	C ₃ S + 37/12H = = 1/6(C ₅ S ₆ H _{5,5}) + 13/6СН (тоберморит)	0,243	228,32	3,15	123,3 +160,5 283,8	2,43 2,24	1,685
1.6	C ₃ S + 19/6H = = 1/3(C ₂ S ₃ H _{2,5}) + 7/3СН (гиролит)	0,25	228,32	3,15	112,52 +172,88 285,4	2,4 2,24	1,71
1.7	C ₃ S + 3,5H = = 1/2(CS ₂ H ₂) + 5/2СН (окенит)	0,276	228,32	3,15	106,14 +185,2 291,34	2,31 2,24	1,774

Таблица 2

№ пп	Реакции перекристаллизации	Химически связанная вода	Исходные компоненты		Продукты перекристаллизации ГСК с понижением основности		Коэффициент изменения объема твердой фазы v_0
			Молекулярная масса	Плотность, г/см ³	Молекулярная масса отдельных компонентов и всех продуктов	Плотность отдельных компонентов, г/см ³	
2.1	$C_2SH_{1,17} + 5/6H = 1/2(C_3S_2H_3) + 1/2CH$ (гиллебрандит→афвиллит)	0,081	193,26	2,64	171,29 +37,05 208,34	2,64 2,24	1,112
2.2	$1/2(C_3S_2H_3) = 1/3(C_4S_3H_{1,5}) + 1/6CH + 5/6H$ (афвиллит→фошагит)	0,088	171,29	2,64	143,86 +12,35 156,21	2,67 2,24	0,915
2.3	$1/3(C_4S_3H_{1,5}) = 1/6(C_6S_6H) + 1/3CH$ (фошагит→ксонотлит)	–	143,86	2,67	119,18 +24,7 143,88	2,69 2,24	1,027
2.4	$1/6(C_6S_6H) + 11/12H = 1/6(C_5S_6H_{5,5}) + 1/6CH$ (ксонотлит→тоберморит)	0,138	119,18	2,69	123,35 +12,35 135,7	2,43 2,24	1,27
2.5	$1/6(C_5S_6H_{5,5}) + 1/12H = 1/3(C_2S_3H_{2,5}) + 1/6CH$ (тоберморит→гиролит)	0,012	123,35	2,43	112,52 +12,35 124,87	2,4 2,24	1,032
2.6	$1/3(C_2S_3H_{2,5}) + 1/3H = 1/2(CS_2H_2) + 1/6CH$ (гиролит→окенит)	0,053	112,52	2,4	143,86 +12,35 118,58	2,31 2,24	1,098

МК в вяжущем варьировалось в пределах 35–80 кг/м³, что позволило получать вяжущие с долевым содержанием SiO_{2акт} от 5 до 20 мас. %.

Данные по влиянию SiO_{2акт}/V на прочность бетона при сжатии, представленные на рис. 1, показывают, что с повышением содержания аморфного кремнезема, вводимого в бетонную смесь путем замены части цемента, прочность бетона возрастает существенно, более чем в 1,5 раза при содержании SiO_{2акт} ≈ 20%. Это нарастание прочности происходит без снижения общей пористости структуры (табл. 3) за счет замещения механически слабой фазы гидроксиды кальция сильной гидросиликатной фазой.

Данные, представленные на рис. 1, получены на основе расчетов для цемента Воскресенского завода с учетом его паспортного минералогического состава [4] для степени гидратации $\theta=0,8$ (в том числе и для реакции взаимодействия CH с SiO_{2акт}), что приблизительно соответствует условиям твердения образцов бетона [3] (ТВО + 28 сут нормального твердения). Расчеты выполнены в предположении, что как в реакциях гидратации силикатных фаз цемента C₃S и β-C₂S, так и в реакциях взаимодействия CH с SiO_{2акт} образуются гидросиликат-

ные фазы в виде тоберморита C₅S₆H_{5,5} (реакции 1.5, табл. 1; 3.1, табл. 3). Отметим, что в данном случае в упрочнении реализуется лишь один механизм процесса – повышение концентрации гидросиликатных фаз, но не реализуется эффект, связанный с пассивным, безраспорным поведением новообразований C-S-H как продуктов связывания CH и SiO_{2акт} в силу высокого V/V=0,44 и существенного резерва капиллярного пространства.

Данные по водному твердению (в течение 4 лет) образцов-цилиндров ЦК (ПЦ 500 Д0) диаметром 2 см, полученных фильтр-прессованием (давление 20 МПа) и виброформованием в сочетании с СП при водоредуцировании до В/Ц ≈ 0,14–0,16, представлены на рис. 2. Эти данные иллюстрируют спад прочности ЦК на бездобавочном цементе после года твердения и продолжение упрочнения ЦК с 10% SiO_{2акт}. В этих экспериментах применительно к составу, включающему МК, реализуются оба названных выше механизма, способствующих упрочнению за счет взаимодействия активного микрокремнезема и CH.

Взгляд на целесообразное количество вводимого микрокремнезема (МК) менялся во времени. Если на

Таблица 3

№ пп	Реакции взаимодействия CH и SiO _{2акт}	Исходные продукты		Продукты гидратации		Коэффициент изменения объема твердой фазы v_0	Количество SiO _{2акт} необходимое для полного связывания CH, % от исходного вяжущего
		Молекулярная масса	Плотность, г/см ³	Молекулярная масса продуктов гидратации	Плотность продуктов гидратации, г/см ³		
3.1	$13/6CH + 13/5SiO_{2акт} + 13/60H = 13/30(C_5S_6H_{5,5})$ (C ₃ S→гиллебрандит→тоберморит)	160,55 +156,21 316,76	2,24 2,32	320,71	2,43	0,949	68,42
3.2	$7/3CH + 3,5SiO_{2акт} + 7/12H = 7/6(C_2S_3H_{2,5})$ (C ₃ S→гиллебрандит→гиролит)	172,9 +210,28 383,18	2,24 2,32	393,82	2,4	0,977	92,1
3.3	$2,5CH + SiO_{2акт} + 2,5H = 2,5(CS_2H_2)$ (C ₃ S→гиллебрандит→окенит)	185,25 +300,4 485,65	2,24 2,32	531,15	2,31	1,084	131,57

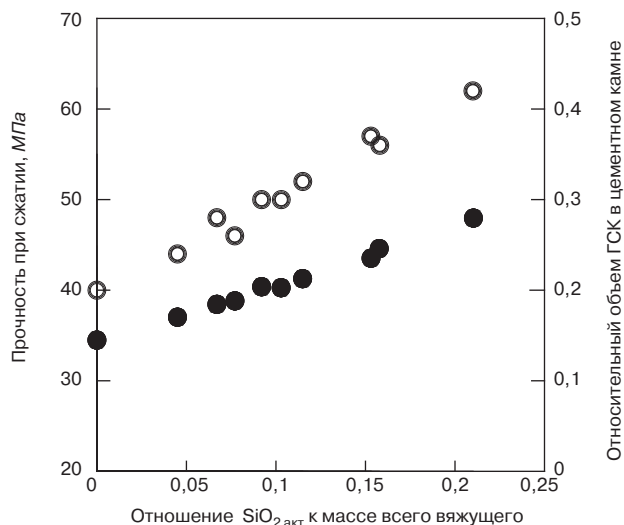


Рис. 1. Влияние относительной весовой концентрации аморфного микрокремнезема в составе вяжущего на прочность бетона при сжатии (O) и на относительный объем всех гидросиликатов кальция (●)

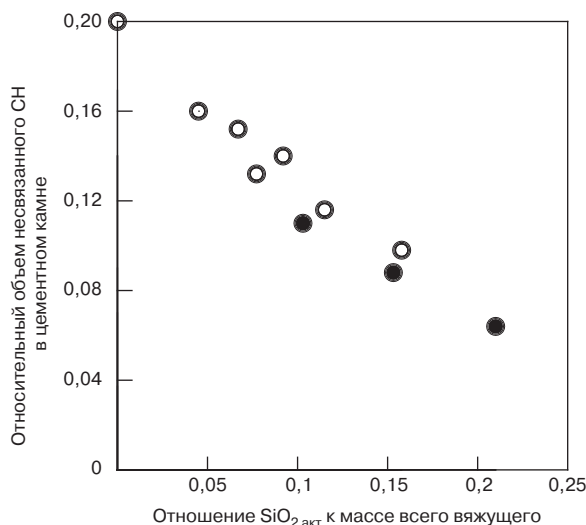


Рис. 3. Характер снижения относительного объемного содержания СН при введении $\text{SiO}_{2\text{акт}}$: O – pH поровой жидкости 11,7–12,5; ● – pH поровой жидкости 11,7 и менее

первых порах в начале 90-х гг. рекомендуемое количество МК принималось на уровне около 10% от массы цемента, то на этапе строительства высотных объектов Москва-Сити с целью достижения особо высоких прочностей бетона по классу прочности на сжатие до В80–В90 количество микрокремнезема в сочетании с СП вводилось до 25–30% [5, 6].

В связи с этим представляет интерес задача количественной оценки выхода СН в реакциях гидратации клинкерных фаз и всего ПЦ и расчеты количества $\text{SiO}_{2\text{акт}}$, необходимого для полного связывания СН в реакциях гидратации и перекристаллизации. Такие расчеты приведены в табл. 1, 2 на примере гидратации C_3S , составляющего до 60–70% всех клинкерных фаз в алитовом ПЦ. Табл. 1 содержит расчеты, касающиеся реакций гидратации C_3S с образованием серии силикатов всего диапазона по основности C/S (от 2 до 0,5) и соответствующим выходом СН в каждой реакции. Табл. 2 содержит данные по перекристаллизации высокоосновных ГСК в низкоосновные, где также представлены количественные данные по выходу СН. Табл. 3 содержит реакции химического связывания СН и $\text{SiO}_{2\text{акт}}$, вводимого, например, в виде добавки МБ. В этой же таблице рассчитана потребность в $\text{SiO}_{2\text{акт}}$ для связывания всего объема СН, определяемая относительно массы исходного C_3S .

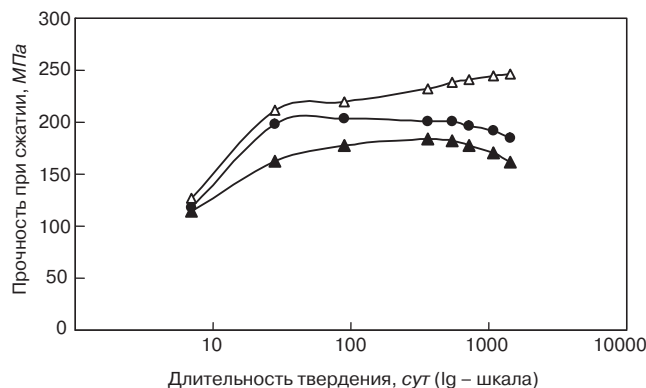


Рис. 2. Кинетика набора прочности фильтр-прессованных (Δ ●) и виброформованных (▲) образцов ЦК на основе ПЦ и микрокремнезема с исходным В/Ц = 0,14–0,16: Δ – ПЦ500 – 90%, МК (в пересчете на $\text{SiO}_{2\text{акт}}$) – 10%; ● – ПЦ500 – 100%, С-3 – 0,5%; ▲ – ПЦ500 – 100%, С-3 – 1% (ЦК, полученный виброформованием), при условии твердения в воде

Подобные расчеты для других клинкерных минералов ПЦ позволяют с учетом долевого содержания клинкерных фаз и степени гидратации ПЦ оценить количество СН и рассчитать предельно допустимое количество $\text{SiO}_{2\text{акт}}$, которое сохранило бы в системе СН, обеспечивающее щелочность среды бетона, необходимую для предотвращения коррозии арматуры.

Пример таких расчетов по сохранившемуся количеству СН в зависимости от количества вводимого $\text{SiO}_{2\text{акт}}$ для воскресенского цемента в рамках эксперимента [3] представлен на рис. 3.

Таким образом, модификаторы серии МБ реализуют две функции, обуславливающие повышение прочности бетона, – водоредуцирование бетонной смеси и увеличение объемной концентрации гидросиликатов кальция через механизм связывания аморфным микрокремнеземом гидроокиси кальция.

Ключевые слова: цементный камень, гидроокись кальция, аморфный микрокремнезем.

Список литературы

1. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комов П.Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов. Уфа: Уфимский полиграфкомбинат, 2002. 376 с.
2. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
3. Степанова В.Ф., Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Барыкин П.И. Влияние добавок микрокремнезема на коррозионную стойкость арматурной стали в бетоне. // Бетон и железобетон. 1993. № 5. С. 28–30.
4. Попов Л.Н. Лабораторный контроль строительных материалов и изделий: Справочник. М.: Стройиздат, 1986. 349 с.
5. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В. и др. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // Строит. материалы. 2008. № 3. С. 9–13.
6. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. и др. Опыт возведения уникальных конструкций из модифицированных бетонов на строительном комплексе «Федерация» // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 8. С. 20–22.



Наносистемы в строительном материаловедении



30–31 марта 2010 г. в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова состоялись V Академические чтения РААСН «Наносистемы в строительном материаловедении».

Пять лет назад в обществе случился нанотехнологический бум: наноматериалам и нанотехнологиям в ближайшем будущем прочили небывалый расцвет и переход общества в 6-й технологический уклад, где определять развитие будет союз био-, нано-, информационных и других высоких технологий. Не остались в стороне ученые, работающие в области строительного материаловедения. Хотя пять лет назад велись серьезные споры о принципиальной возможности применения или генерации нанотехнологий и наноматериалов в строительстве, учитывая крупномасштабность производства и работ. В настоящее время уже констатируется необходимость использования достижений в области нанотехнологий и применения наносистем в строительном материаловедении. Появились первые исследовательские работы, оформились научные направления и готовятся кадры.

Пожалуй, основным направлением исследований является применение наносистем в качестве добавок-модификаторов при производстве строительных материалов. Этой теме был посвящен ряд докладов д-ра техн. наук П.Г. Комохова (Санкт-Петербург), канд. хим. наук А.В. Кнотько (Москва), а также инженера А.А. Пыкина (Брянск) и др.

Другое направление исследований – получение наночастиц и их стабилизация при измельчении сырья в производстве строительных материалов.

Существенных успехов в фундаментальных и практических исследованиях добились ученые секции «Наносистемы в строительном материаловедении» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Участникам конференции были представлены результаты и разработки, которые могут быть внедрены в существующие технологии. Так, повышения прочности, плотности и долговечности силикатных материалов можно добиться путем введения в формовочную смесь определенного количества молотой кремнезернистой добавки (В.В. Нелюбова), введение в вяжущее 1% нанокристаллического модификатора позволяет получить пеногазобетон более низкой плотности и большей прочностью, чем по традиционной технологии (А.Б. Бухало) и др.

На чтениях было затронуто направление, которое, возможно, напрямую не связано с нанотехнологиями, – информационное обеспечение исследований и производства. Современный уровень развития информационных технологий и науки о строительных материалах, накоп-

ленный массив экспериментальных данных настоятельно требуют создания нового продукта – глобальной информационной базы данных. О принципах создания такой базы и потенциальных возможностях рассказал инженер Ф.Е. Жерновой (Белгород).

Несмотря на полученные результаты, говорить о переходе на новый технологический уклад в промышленности строительных материалов пока еще не приходится. Причины связаны с общими системообразующими проблемами развития науки в этом направлении.

Формирование системы государственного управления отстает от необходимого уровня, недостаточно подготовлена нормативно-правовая база, в стадии становления находятся единая терминология и стандарты.

При наличии резкого увеличения государственного финансирования в сфере нанотехнологий за последние годы не создано соответствующих условий для эффективного освоения этих капиталовложений. Пока не существует реальной необходимости инновации, не сформирован устойчивый спрос на нанопродукцию при довольно слабой в России традиции маркетинга, отвечающего мировым стандартам, и нерешенных проблемах использования интеллектуальной собственности.

До сих пор существует в целом скептическое отношение к нанотехнологиям, характеризующееся непониманием и недоверием, а иногда просто безразличием. Обществу в полной мере не показана широта, значимость и перспективы применения нанотехнологий под знаком социальной эффективности, особенно в привязке к переходу мира на новый технологический уклад. Слабо обсуждаются пути решения этических проблем применения нанотехнологий, связанных с сопутствующими возможными рисками.

Тем не менее перспективы у нанотехнологий в строительном комплексе России, по мнению участников чтений, могут быть большими и реальными. Эта уверенность опирается на научно-технические традиции и опыт, технологические заделы и наличие достаточного количества действующих ученых и специалистов. Нужна только государственная воля по последовательному устранению имеющихся препятствий. Необходимо возобновление вложений в технологическую часть реального сектора экономики, без которой невозможен подъем отрасли.

*И.В. Козлова,
канд. физ.-мат. наук*



Рис. 1. Работа на V Академических чтениях требовала сосредоточенности и внимания.



Рис. 2. Академик РААСН П.Г. Комохов познакомил с достижениями петербургских ученых и строителей



Рис. 3. А.В. Кнотько выступает с докладом «Модифицирование базальтового волокна для использования в стеклофибробетоновых композитах»

Д.Д. ХАМИДУЛИНА, инженер (loza_mgn@mail.ru), Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова (Магнитогорск Челябинской обл.)

Оценка фрактальной размерности песков

Более двадцати лет назад, благодаря работам Б. Мандельброта [1], возникло такое понятие как *фрактал*. Если брать его собственное определение, то фрактал является структурой, состоящей из частей, каждая из которых подобна целому. Простым примером является известная с давних времен русская матрешка.

Распространенность фрактальных структур в природе огромна. Фрактальны узоры листьев, капиллярная система растений, расположение ветвей, реки, облака, морские побережья, горный рельеф, минералы, горные породы и многое другое.

Основным свойством фрактала является свойство частей меньшего масштаба быть подобными общей структуре, которое называют *самоподобием*. Второе свойство – дробность фрактала, которая является математическим отражением меры неправильности фрактала. Третье свойство – корреляция между всеми точками фрактала. Малейшее изменение в одной из точек приводит к изменению самого фрактала [1]. Свойство точного самоподобия характерно лишь для регулярных фракталов [2].

Рассмотрим с точки зрения фрактальной геометрии пески, которые являются существенной составной частью большинства строительных материалов.

Вследствие ограниченности природных ресурсов, получение качественного искусственного песка по всему миру стало одним из важных приоритетов в работе предприятий нерудной промышленности. Расширение использования искусственного песка в строительной индустрии будет способствовать решению экологической (ликвидацию отходов в отвалах), экономической (стоимость бетонов из вторичных ресурсов гораздо дешевле) и социальной (увеличение строительства жилья в рамках государственной программы) проблем.

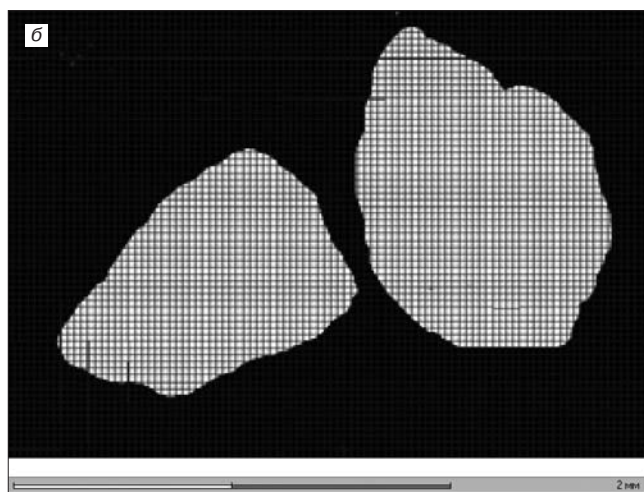
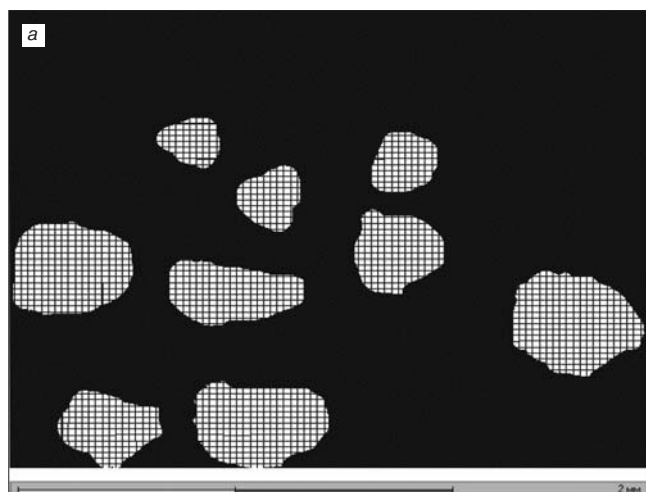
Разрушение горных пород, как и других твердых тел, под влиянием внешнего воздействия начинается с дефекта, который проявляется в виде микротрещин [3]. В нашей работе внешнее воздействие проис-

ходило в процессе дробления материала в центробежно-ударной дробилке ДЦ за счет взаимосоударения частиц материала или удара материала о металл футеровки [4]. Под действием нагрузки к одному дефекту присоединяются другие, в результате чего возникает сложная система трещин, а нарастание процесса присоединения приводит к образованию многоуровневой кластер-кластерной структуры, что проявляется в виде цепной реакции трещинообразования и, как следствие, разрушения.

Уже на этапе возникновения трещин первого уровня формируются частицы разрушенного материала, количество которых затем растет с ростом числа уровней трещин, при этом размеры частиц обусловлены величиной вероятности присоединения трещинных кластеров друг к другу. Чем она выше, тем мельче трещины, и размеры самого кластера растут.

Количественной характеристикой фрактала является фрактальная размерность D , которая, как уже отмечалось выше, имеет размерность отличную от евклидовой ($D_e=1; 2$ и 3) и является дробной. Существует несколько теорий определения фрактальной размерности. Для многих реальных фракталов метод определения размерности путем подсчета числа клеток, содержащих контур фрактала, оказывается более предпочтительным [5]. Именно такой метод выбран для определения фрактальной размерности песков, предложенный М.Ю. Яблоковым [6]. Сущность метода заключается в следующем. На черно-белое изображение накладывается сетка с квадратной ячейкой размером δ и подсчитывается число клеток, в которые попадает фрактал. Определяется зависимость количества ячеек, занятых черными или белыми пикселями, от размера ячейки. Сетчатая фрактальная размерность D_p определяется по наклону линии, полученной построением логарифмической зависимости [6]:

$$D_p = \frac{\ln N}{\ln\left(\frac{1}{\delta}\right)}$$



Определение фрактальной размерности частиц песка путем подсчета количества клеток: а – речной песок фракции 0,63–0,315 мм; б – отсев дробления фракции 1,6–0,63 мм

На рисунке наглядно показано, как можно определить фрактальную размерность песка путем подсчета клеток определенного масштаба, приходящихся на его частицу. Фрактальность частиц дробленого и речного песков исследовалась методом оптического анализа.

Частицы фотографировались через микроскоп SEAMS с заданным увеличением. Определялась фрактальная размерность периметра проекции частиц песка на плоскость при масштабе 1:5 ($\delta = 0,2$).

В результате определения фрактальной размерности согласно приведенной формуле получены следующие данные: $D_{P(\text{речн.})} = 1,323$; $D_{P(\text{дробл.})} = 1,714$, то есть фрактальная размерность дробленого песка на 23% превышает размерность речного песка. Это подтверждает факт, что поверхность дробленого песка имеет более шероховатую поверхность. Это даст возможность получения бетонов повышенной прочности на основе отсевов дробления, а также получение максимально плотной упаковки.

Дальнейшее изучение поверхности песков с точки зрения фрактальной геометрии позволит определить влияние фрактальной размерности песка на такие важные характеристики как насыпная плотность, а следовательно и на реологические свойства бетона и его прочность.

Ключевые слова: *фрактал, фрактальная размерность, песок искусственный.*

Список литературы

1. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
2. *Божокин С.В., Паршин Д.А.* Фракталы и мультифракталы. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 128 с.
3. *Додис Я.М.* Оценка фрактальной размерности разрушенного взрывом массива горных пород // Вестник КРСУ. 2002. № 2. (<http://www.krsu.edu.kg/vestnik/2002/v2/a18.html>).
4. *Гущин А.И., Косян Г.А., Артамонов В.А., Козин А.Ю., Кушка В.Н.* Реальность производства щебня I группы по форме зерна // Строит. материалы. 2002. № 2. С. 4–5.
5. *Шрёдер М.* Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. Ижевск.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 528 с.
6. *Яблоков М.Ю.* Определение фрактальной размерности на основе анализа изображений // Журнал физической химии. 1999. № 2. С. 73.

информация

Актуальные вопросы строительства обсуждены на Межправительственном совете стран СНГ

10–11 июня 2010 г. в Минске прошел Межправительственный совет по сотрудничеству в строительной деятельности стран СНГ.

В работе Межправительственного совета приняли участие делегации министерств, ведомств и общественных организаций республик Армении, Азербайджана, Беларуси, Казахстана, Молдовы, России, Таджикистана, Украины, отвечающие за вопросы архитектуры, градостроительства, жилищной политики, технического регулирования и саморегулирования в области строительства.

Межправительственный совет стран СНГ принял ряд решений, касающихся развития взаимовыгодного сотрудничества, поиска новых рынков сбыта и развития экспорта строительных услуг, строительных материалов и изделий при возведении объектов различного назначения.

Членами делегаций были обсуждены вопросы об изменениях в законодательстве Российской Федерации о градостроительной деятельности, о лицензировании, повлекших замену системы лицензирования на институт саморегулирования в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов, рекомендованных к рассмотрению в странах Содружества в качестве основы нормативно правовых актов в этой области. Также были рассмотрены проблемы и опыт сохранения эстетической принадлежности при реконструкции исторически сложившейся городской среды, строительства на просадочных грунтах в условиях холмистых территорий, реконструкции и модернизации существующих крупнопанельных жилых зданий.

Острая дискуссия разгорелась по вопросу о взаимном признании лицензий и допусков, выдаваемых СРО. Живой интерес и дискуссии вызвали проект «Концептуальные основы формирования нормативно-правового пространства

СНГ в сфере технического регулирования строительства и производства изделий строительного назначения» и модельное двустороннее соглашение между странами – членами СНГ о взаимном признании результатов подтверждения пригодности новых строительных изделий для применения. Общеизвестно, что еще в 2006 г. Украина первой из стран СНГ ввела в действие технический регламент о безопасности строительных изделий, зданий и сооружений, а в середине 2009 г. – 13 руководящих документов к директиве 89/106 ЕЕС, которые уточняют ее положения и подчеркивают ее специфичность по сравнению с другими директивами по различным аспектам технического регулирования.

Было отмечено, что в связи с введением с 1 января 2010 г. на территории Беларуси европейских норм проектирования, строительства и стандартов разработана и утверждена «Программа мероприятий по внедрению на предприятиях и в организациях норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства», которая будет выполнена в текущем году. Кроме того, в настоящее время 11 подведомственных Министерству строительства и архитектуры Беларуси организаций осуществляют поставку своей продукции в страны Евросоюза с маркировкой СЕ. Межправительственный совет поручил Межгосударственной научно-технической комиссии по стандартизации доработать представленный проект по вопросам формирования нормативно-правового пространства СНГ. Очередное XXX заседание совета пройдет в Киеве осенью 2010 г.

По материалам пресс-службы АСР



ИНТЕРСТРОЙЭКСПО-2010

14–17 апреля 2010 г. в выставочном комплексе Ленэкспо (Санкт-Петербург) состоялся XVI-й Международный строительный форум «Интерстройэкспо». Проект включен в Перечень приоритетных выставок, поддерживаемых Правительством Санкт-Петербурга.



Открытие форума «Интерстройэкспо-2010»

В рамках международного строительного форума «Интерстройэкспо-2010» состоялись 17 международных специализированных выставок: «Интерстройэкспо», «Тепловент», «Водоснабжение», «Энергоснабжение и электротехника», «Строительство и строительные материалы», «Инструмент и оборудование», «Окна. Двери. Ворота», «Кровля и изоляционные материалы», «Фасадные материалы», «Металлоконструкции, металлоснабжение», «Автоспецтехника», «Интерьерные решения», «Сантехника», «Отделочные материалы», «Умный дом», «Загородное домостроение», «Российская стройиндустрия».

В 5 выставочных павильонах и на открытой площадке разместились 511 компаний из 23 субъектов Российской Федерации – Санкт-Петербурга, Москвы, Архангельской, Брянской, Владимирской, Калужской, Калининградской, Костромской, Ленинградской, Московской, Новгородской, Нижегородской, Омской, Самарской, Свердловской, Челябинской, Рязанской и др. областей, Краснодарского, Приморского краев; Республики Татарстан, 12 стран мира (Беларуси, Германии, Италии, Турции, Украины, Франции и др.). Коллективную экспозицию в рамках выставки «Российская стройиндустрия» представила Саратовская область.



В оформлении стендов компании проявили фантазию – непрофильное использование продукции для привлечения внимания

За четыре дня работы выставку посетили 37,6 тыс. человек, в основном специалисты, руководители предприятий.

В открытии форума приняли участие И.В. Пономарев, директор Департамента регулирования градостроительной деятельности Министерства регионального развития РФ; Р.Е. Филимонов, вице-губернатор Санкт-Петербурга; В.В. Семенов, председатель Комитета по строительству Санкт-Петербурга; Е.В. Басин, президент Национального объединения строителей; Л.С. Барина, заместитель председателя Комитета Торгово-промышленной палаты РФ по предпринимательству в сфере строительства, и многие другие.

Кризис наложил отпечаток на формат экспозиции. Очевидно преобладали предложения, адресованные частным застройщикам, а также физическим лицам, проводящим ремонт существующего жилого фонда. Это системы водоснабжения и очистки; вентиляции; кондиционирования воздуха; сантехника; отделочные материалы (паркет, обои, плитка) и многое другое.

Традиционно важное место в экспозиции занимали производители стеновых материалов. Среди них можно выделить следующие.

Компания ООО «Пенобетон-Пикалево» (Ленинградская обл., г. Пикалево) представила ячеисто-бетонные блоки автоклавного твердения. Они используются для кладки внешних стен зданий и возведения внутренних перегородок. Основными преимуществами данного материала являются: его геометрическая точность, высокая механическая прочность, небольшой вес; он легко пилится и при этом не крошится, а также обладает высокой экологичностью.

Неавтоклавный ячеистый бетон – фибропенобетон был представлен компанией ЗАО «Фиброн» (Ленинградская область, Гатчинский р-н, п. Пригородный). Композит, состоящий из высокопористой матрицы с равномерно распределенными в ее объеме полимерными волокнами (фиброй) обладает следующими характеристиками: средняя плотность, кг/м³; 400–1200; прочность, МПа; при изгибе 0,8–6; при сжатии 0,8–10; коэффициент теплопроводности, Вт/(м²·К) 0,1 – 0,35; морозостойкость, цикл, более 100.

ООО «Строитель» (Ленинградская обл., Всеволожский р-н, п. Колтушин) продемонстрировало участникам выставки стеновые ограждающие конструкции типа «сэндвич» для промышленного и гражданско-





Компания «Стройприбор» разрабатывает, производит и поставляет современные приборы неразрушающего контроля. Она является рекламодателем журнала «Строительные материалы»® более 10 лет!



Открытые площадки были заполнены специальной строительной техникой.

го строительства. Одним из важных преимуществ сэндвич-панелей можно назвать тот факт, что они не требуют дополнительной отделки. Максимальная длина может достигать 12000 мм. Коэффициент теплопроводности – 0,043 Вт/(м²·°К). В качестве утеплителя используется конструкционная базальтовая вата: плотность не менее 110 кг/м³, прочность на сдвиг 50 кН/м², прочность на сжатие 100 кН/м².

Одним из приоритетных направлений выставки стало повышение качества жилого фонда за счет реконструкции ЖКХ. В экспозициях выставок «Тепловент», «Водоснабжение», «Умный дом», «Сантехника» были представлены дымоходы, электроприборы, шаровые краны, противопожарные клапаны, оборудование для бассейнов, трубы канализационные, фильтры для воды, интеллектуальные системы «Умный дом» (проектирование, разработка, внедрение и обслуживание), а также различная сантехника.

Как всегда насыщенной была деловая программа «Интерстройэкспо». Ежедневно проводились конференции и семинары, посвященные актуальным вопросам строительства. Центральным событием деловой программы форума стал Международный конгресс по строительству «IBC». Конгресс «IBC» – ежегодное отраслевое мероприятие, собирающее большое количество специалистов из разных регионов России и представителей зарубежных стран.

Основная тема конгресса – «Строительный комплекс России – развитие рыночных отношений в период выхода из кризиса».

В рамках пленарного заседания конгресса были подняты наиболее актуальные вопросы развития строительной отрасли: основные направления развития строительного комплекса регионов России, современная нормативно-правовая база в строительстве, меры по преодолению административных барьеров в строительстве, совершенствование системы страхования ответственности строительной деятельности в современных условиях.

По мнению участников, конгресс является эффективной коммуникативной площадкой для прямого общения с государственными и



А.С. Миллерман

отраслевыми структурами, топ-менеджерами и ведущими специалистами крупнейших строительных компаний.

Состоялся II Всероссийский Съезд Национального объединения саморегулируемых организаций, действующих в сфере строительства. Важнейшим вопросом создания и функционирования СРО является страхование деятельности их членов. С докладом о системе страхования выступил А.С. Миллерман, руководитель рабочей группы Всероссийского союза страховщиков (ВСС) страхования ответственности членов строительных саморегулируемых организаций (СРО), генеральный директор САО «Гефест». Помимо этого, в рамках форума прошли XII конференция «Эффективные системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплоснабжения»; VI Международная научно-техническая конференция «Aquistop-2010»; «Гидроизоляционные, кровельные и теплоизоляционные материалы»; консультации дизайнеров, презентации компаний.

Международный строительный форум «Интерстройэкспо-2010» высоко оценивается специалистами и ведущими строительными компаниями на российском и зарубежном рынках. В период экономических трудностей и проблем в нормативной строительной базе он стал прекрасной площадкой для налаживания деловых связей и демонстрации сил производителей.

Т.А. Юмашева

В связи с 55-летним юбилеем журнала «Строительные материалы»® на стенде была представлена вся литература: журналы, дайджесты, книги по различным тематикам. На нашем стенде все желающие могли не только познакомиться с нашей продукцией, а также подробно узнать о проектах – «КЕРАМТЭКС», «СИЛИКАТЭКС» и «ДОР-СМ» – научно-практических конференциях, которые проводятся журналом, а также, при желании, заполнить заявку на участие в этих мероприятиях.



Большое внимание участников привлекал стенд журнала «Строительные материалы»®

В.П. ЯРЦЕВ, д-р техн. наук, О.А. КИСЕЛЕВА, канд. техн. наук, С.В. ЕРМАКОВ, инженер (ermakovsergey68@mail.ru), Тамбовский государственный технический университет

Влияние концентраторов напряжений на прочность древесины и древесно-полимерных композитов

Строительные конструкции и изделия из древесины и древесно-полимерных композитов широко используют в жилищном строительстве. Для их транспортировки и монтажа при изготовлении сверлят отверстия, забивают гвозди, делают пропилы и пазы. В процессе эксплуатации под нагрузкой они являются концентраторами напряжений и оказывают существенное влияние на прочность конструктивного остова здания.

В работе изучено влияние размера, формы, количества и расположения концентраторов напряжений в виде отверстий и пропилов на прочность образцов из древесины, фанеры, древесно-стружечной и древесноволокнистой плит. Образцы в виде пластин размерами 170×10×10 мм, 120×10×6,5 мм, 120×10×16,4 мм и 120×20×3,3 мм соответственно испытывали при поперечном изгибе сосредоточенной силой в режиме заданной постоянной скорости нагружения. Отверстия получали сверлением и забиванием гвоздя, пропилы – ножовкой с разной толщиной полотна. Результаты

испытаний показали [1], что способ ослабления по-разному влияет на прочность исследованных древесных материалов. Так, для древесины наиболее опасными являются концентраторы напряжений, полученные сверлением. При этом величина условной прочности (σ) снижается на 25%. Для древеснополимерных композитов опаснее концентраторы напряжений, полученные при забивании гвоздей. Условная прочность ослабленных образцов фанеры и ДВП падает на 30% и 60% соответственно. Напротив, величина истинной прочности образцов из древесины и композитов на ее основе, с концентратором напряжений практически не меняется.

При наличии пропилов в образцах также наблюдается снижение условной прочности (от 9% для ДВП до 17% для фанеры). При этом наиболее опасным оказалось расположение нескольких пропилов навстречу друг другу.

При увеличении расстояния от дефекта до центра образца (точки приложения разрушающей нагрузки)

Таблица 1

Материал образцов	Диаметр отверстия (мм) после		Глубина пропила мм	Безопасное расстояние (x), мм	
	сверления	забивания гвоздя		теоретическое	экспериментальное
Древесина	–	3,2	–	26,7	15
	3,7	–	–	16,2	15
ДСП	–	2,3	–	7,4	15
	5	–	–	16,2	15
Фанера	–	3,2	–	16,6	15
	2,7	–	–	14	15
	–	4	21	25	
ДВП	–	3,7	–	17,3	30
	–	8	21	25	

* Приложение нагрузки (центра образца) при пролете 10 см.

Таблица 2

Материал образцов	Пролет образца, мм	Диаметр отверстия после сверления, мм	Безопасное расстояние, мм		Соотношение пролетов	Соотношение безопасных расстояний, полученных	
			теоретическое	экспериментальное		теоретически	экспериментально
Древесина	10	3,7	16,2	15	1	1	1
	20	4	37,91	30	2	2,33	2
	25	4	47,39	35	2,5	2,92	2,33
ДСП	10	5	16,2	15	–	–	–
	15	5	22,86	20	1,5	1,41	1,33
	20	5	30,47	25	2	1,88	1,67

Таблица 3

Материал образцов	Полимерные составы	Прочность, МПа
Древесина	–	61,06
	–	30,74
	Эпоксидная смола	60,17
	Эпоксидная смола: АФО* = 1:1	59,66
ДСП	–	8,92
	–	5,74
	Эпоксидная смола	9,28
	Эпоксидная смола: АФО=1:1	8,67
	Полиэфирная смола	5,84

* Асбофрикционные отходы.

происходит увеличение прочности до прочности бездефектных образцов. Так, смещение концентратора напряжений относительно центра образца более чем на 15 мм не оказывает влияния на прочность древесины, фанеры и ДСП. Для ДВП это расстояние увеличивается до 30 мм. При наличии пропилов безопасное расстояние составляет более 25 мм (табл. 1). Здесь же приведены величины безопасных расстояний, полученных эмпирически по формулам сопротивления материалов.

Из табл. 1 видно, что теоретические и экспериментальные результаты близки только для фанеры. После забивания гвоздя в древесно-стружечные и древесноволокнистые плиты теоретические значения безопасных расстояний оказываются заниженными в два раза. Это связано с разрушением структуры древесно-полимерных композитов вокруг поверхности гвоздя. При забивании гвоздя в древесину теоретические значения (х) почти в два раза завышены.

При наличии отверстий после сверления в древесно-стружечных плитах и древесине экспериментальные и теоретические значения безопасного расстояния практически совпадают. Наличие пропилов в фанере и ДВП занижают теоретические значения на 16%, что также связано с нарушением структуры композитов по периметру концентратора.

Результаты исследования влияния размеров образца на безопасное расстояние до концентратора напряжения представлены в табл. 2.

Из таблицы видно, что с увеличением длины образца безопасное расстояние существенно увеличивается. При этом также увеличивается расхождение теоретических и экспериментальных значений.

Из полученных результатов очевидно, что для образцов из древесно-полимерных композитов наиболее опасны концентраторы напряжений в виде отверстий, полученных забиванием гвоздя.

Экспериментально установлено, что количество отверстий по длине образца не оказывает существенного влияния на место разрушения древесно-полимерных композитов (33% образцов разрушилось по одному отверстию и 33% по двум). Исключение составляют древесно-волоконистые плиты, которые всегда разрушались по двум отверстиям. При этом прочность уменьшилась на 5–6%.

Восстановления прочности древесных материалов можно добиться заделкой дефектов полимерными составами.

В качестве таких составов использовали эпоксидную и полиэфирную смолы, а также эпоксидный композит, наполненный 50% асбофрикционных отходов [2]. В

табл. 3 представлены значения прочности исследованных образцов до и после заделки концентраторов напряжения – отверстий $\varnothing 5$ мм.

Из табл. 3 видно, что составы на основе эпоксидной смолы дают наилучшие результаты. После заделки разрушение происходит не по концентратору напряжений, а прочность близка прочности бездефектных образцов. Для снижения стоимости герметика в смолу вводили 50% асбофрикционных отходов. При этом потери прочности незначительны. Использование полиэфирной смолы не привело к увеличению прочности древесных образцов, поскольку разрушение происходило по концентратору напряжений.

Таким образом, при проектировании строительных изделий из древесины и древесно-полимерных композитов необходимо учитывать форму, размеры, количество, местоположение и способы получения ослаблений, скорректировать расчетные величины напряжений с учетом полученных результатов; для повышения прочности ослабленных изделий использовать для заделки дефектов эпоксидные герметизирующие составы.

Ключевые слова: *древесные композиты, концентратор напряжения, прочность.*

Список литературы

1. Ярцев В.П., Киселева О.А., Ермаков С.В. Влияние концентраторов напряжений на прочность и термоактивационную долговечность материалов на основе древесины // Вестник центрального регионального отделения. Вып. 8. Воронеж, 2009. С. 149–154.
2. Ярцев В.П., Воронков А.Г. Эпоксидный полимерраствор // Патент на изобретение № 2248950. 27 марта 2005. Бюл. № 9. Заявка № 2003132021.

 **ВЫСТАВКА**
Ваше Жилище

21-23 сентября
Ярославль

16-я выставка энергоэффективных технологий для строительства и ЖКХ в рамках межрегиональной конференции
«Строительство и ЖКХ:
Энергоэффективность.
Инвестиции. Инновации»

(4852) 45-06-46, www.energo-resurs.ru

А.Ю. ВАРФОЛОМЕЕВ, инженер, ООО «Научно-исследовательская лаборатория строительной экспертизы Баренц-региона» (Архангельск)

Динамика биологической деструкции древесины

По имеющимся данным, в строительстве в конце 60-х гг. прошлого века ежегодно расходовали около 20% древесины для замены преждевременно вышедшей из строя вследствие биологического повреждения. В 1970 г. в СССР на строительство было израсходовано 110 млн м³ древесины, в том числе на ремонт 44 млн м³. При таких объемах потребления ежегодные потери древесины в народном хозяйстве, по данным [1], составляли 21 млн м³.

При строительстве на слабых торфяных грунтах в северном регионе широко применяли деревянные сваи либо фундаментные стулья. В процессе эксплуатации их нижняя часть увлажняется и инфицируется дереворазрушающими грибами, которые всегда присутствуют в грунте благодаря использованию в процессе жизнедеятельности целлюлозы и влаги однолетних трав, древесного мусора, различных органических соединений и прочего.

Древесина имеет сложное анатомическое строение. Оно обусловлено наличием клеточных оболочек с полостями, направленными вдоль волокон, и с цилиндрической анизотропией за счет ежегодного прироста на наружной поверхности круговых слоев ранней (весенней) и поздней древесины, различающихся строением стенок трахеид и другими свойствами. В радиальном и тангенциальном направлениях скорость роста грибов значительно ниже, чем в продольном, поскольку при развитии по полостям трахеид гифы встречают меньше сопротивления. Тонкие и сильно разветвленные гифы позволяют грибу проникать в относительно больший объем древесины при малом количестве его биомассы. Поэтому инфекция может быстро распространяться вверх по полостям трахеид древесины вертикальных элементов фундаментов. Перемещению грунтовых вод по трахеидам, которые могут фактически являться суспензией спор дереворазрушающих почвенных грибов, способствует осмос [2]. Скорость повреждения грибами зависит от достаточности доступа воздуха и воды. Минимальное количество воды в древесине для развития дереворазрушающих грибов составляет около 10% (некоторые виды требуют 20–30%). Доля необходимого объема воздуха в зависимости от вида гриба варьирует в диапазоне 5–20%, то есть при полном водонасыщении древесины его развитие прекращается. Большинство дереворазрушающих грибов прекращает свое развитие при температуре ниже 3 и выше 40°C. Однако некоторые виды грибов имеют более низкую минимальную температуру, например *Desclia pinicola* способен расти даже при -4°C.

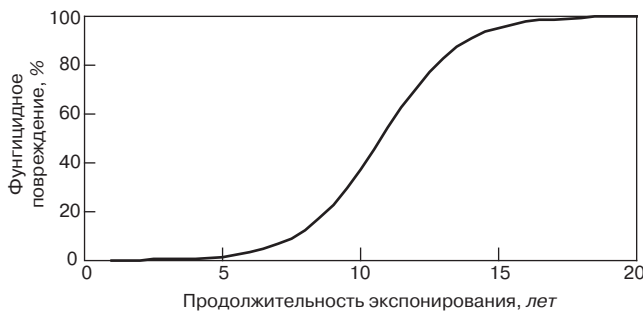
Рассмотрим влияние изменений условий эксплуатации на повреждение грибами деревянных фундаментов на примере Архангельска, который построен на торфяниках, образованных целлюлозосодержащими растениями. При реконструкции города в 1970–1990 гг. устраивали глубокое дренажи, копали обширные котлованы под фундаменты многоэтажных каменных и крупнопанельных зданий, прокладывали

дороги и инженерные коммуникации с заменой торфа на песок, который обладает хорошими дренирующими свойствами. Значительное понижение уровня грунтовых вод с интенсивной аэрацией торфа и фундаментов активизировали развитие опасных дереворазрушающих грибов, которые разлагали целлюлозу, выполняющую в древесине функцию несущего каркаса. Это привело к недопустимой деструкции древесины фундаментов и утрате большого количества соседних деревянных зданий, возведенных в специфическом стиле северной архитектуры и находившихся до реконструкции исторического центра города в хорошем состоянии. Вторая волна интенсивного развития биологического повреждения древесины фундаментов пришлось на период перестройки экономики страны. Из-за отсутствия финансирования тогда несвоевременно производили мероприятия по замене поврежденной древесины и превентивной защитной обработке заменяемых и сохранившихся элементов. Процесс биологической деструкции начал распространяться в геометрической прогрессии, превысил критические значения, и около 65% зданий потребовало замены деревянных фундаментов [3].

Цель работы – определить закономерности биологической деструкции древесины, что позволит прогнозировать динамику изменения технического состояния строительных конструкций в процессе длительной эксплуатации, своевременно спроектировать и произвести ремонтные работы.

Динамику деструкции древесины грибами в предыдущих исследованиях в основном описывали с помощью разработанного И.Ф. Ламовым степенного полинома. На основании результатов натурных обследований 202 жилых одно- и двухэтажных зданий с разными сроками эксплуатации были разработаны математические модели динамики гниения деревянных элементов. Степенной полином был выбран по методу наименьших квадратов (МНК). Анализ полученных уравнений показывает, что они достоверны лишь в узком временном интервале, в пределах которого были исходные экспериментальные данные. При нулевых значениях времени либо за пределами экспериментального временного диапазона закономерности не соответствуют реальности. Например, чем больше срок за пределами упомянутого интервала объем поврежденной древесины, вычисляемый по выведенным уравнениям, начинает уменьшаться либо превышает 100%. Это не позволяет использовать полученные закономерности для прогнозирования динамики биологического повреждения древесины.

Рассмотрим данные полигонных испытаний основных столбов, которые выполняли в ЦНИИМОД более 25 лет, регулярно устанавливая дополнительные образцы взамен деструктированных [4, 5]. Столбы имели диаметр 90–130 мм и были установлены с заглублением в грунт сухого дерново-подзолистого луга на половину их длины, составившей 800 мм (ГОСТ 18610–82). Извлечение столбов из грунта и макромикологическое описание с точными замерами



Динамика биологической деструкции древесины экспериментальных столбов при контакте с грунтом

площади и глубины поврежденных участков производили в конце вегетативного периода – осенью. В процессе длительных исследований были определены виды грибов, повреждавших древесину на разных стадиях, зафиксированы особенности развития сообщества грибов и их антагонисты. По экспериментальным данным рассматриваемых выборок были рассчитаны индексы разрушения в виде процентного соотношения объема пораженной древесины к начальному объему столбов [6]: через 8 лет – 57,2% при коэффициенте вариации $v = 41,85\%$; 11 лет – 70,2% при $v = 27,75\%$; 15 лет – 81,94% при $v = 20,94\%$. Динамика биологической деструкции древесины по указанным экспериментальным данным была описана степенным полиномом третьей степени. Полученное уравнение также является корректным только в узком диапазоне, ограниченном продолжительностью полигонных испытаний.

При обработке данных полигонных испытаний, выполнявшихся в ЦНИИМОД, учитывали, что через два года поверхностную зону столбов, не обработанных защитными препаратами, как правило, осваивали колонии плесневых, деревокрашивающих и дереворазрушающих грибов, поражение которыми было оценено в 0,05%.

Опишем зависимость развития биологической деструкции экспериментального деревянного столба с течением времени исходя из того что первоначальный его объем составляет 1 ($V = 1$); x – доля повреждения, изменяющаяся от 0 до 1, k – учитывает характеристику среды ($k > 0$). Тогда $(1 - x)$ – неповрежденная доля; t – время, а dx/dt – скорость повреждения. Доли оказывают взаимное влияние друг на друга:

$$\frac{dx}{dt} = k \cdot x(1-x) \cdot \frac{dt}{x(1-x)} \quad (1)$$

После преобразований получим:

$$\frac{dx}{x} + \frac{dx}{1-x} = k \cdot dt \quad (2)$$

Интегрированием полученного дифференциального уравнения (2) и преобразованиями получим:

$$\ln \left| \frac{x}{1-x} \right| = k \cdot t + C_1;$$

$$\frac{x}{1-x} = \alpha \cdot e^{kt}, \text{ где } e^{C_1} = \alpha.$$

Путем преобразований получим:

$$x = \frac{1}{\alpha \cdot e^{-kt} + 1}, \quad (3)$$

где α характеризует начальное состояние исследуемого объекта ($\alpha > 0$).

Уравнение (3) идентично уравнению логистической кривой, которая находила применение для описания роста ряда природных популяций [7].

Определим неизвестные коэффициенты уравнения (3) с использованием функции ЛИНЕЙН табличного процессора Excel [8]. Подставив значения параметров, полученных при полигонных испытаниях [6], получим следующую модель:

$$x(t) = \frac{1}{1991,52 \cdot e^{-0,7061 \cdot t} + 1} \quad (4)$$

Начальная стадия роста логистической кривой (см. рис.) соответствует экспоненте. По мере биохимической деструкции древесины дереворазрушающими грибами их рост замедляется из-за возрастающего дефицита источника питания – целлюлозы, а также из-за возможных антагонистов в микологической среде, затем проходит линейную фазу и, наконец, в более позднем периоде практически останавливается из-за отсутствия питательной среды.

О хорошем совпадении экспериментальных данных полигонных испытаний с полученной зависимостью, отражающей динамику биологической деструкции древесины, свидетельствует коэффициент детерминации $R^2 = 0,81214$, близкий к единице.

Ключевые слова: древесина, гниение, деструкция, динамика, апробация, прогнозирование.

Список литературы

1. Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная промышленность, 1967. 276 с.
2. Харук Е.В. Проницаемость древесины газами и жидкостями. Новосибирск: Наука, 1976. 190 с.
3. Нилов О.В. Актуальные задачи сохранения деревянного жилого фонда Архангельска // Строительство и реконструкция деревянных жилых домов: междунар. научн.-техн. конференция. Архангельск: АГТУ, 2002. С. 4–5.
4. Паромова Т.М., Кузнецова В.В. К вопросу о биостойкости защищенной древесины // Сушка и защита древесины. Научн. тр. Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. С. 143–150.
5. Паромова Т.М., Кузнецова В.В. Динамика развития комплекса грибов при разрушении древесины в условиях Севера Европейской части СССР // Повышение эксплуатационной надежности и защита древесины. Научн. тр. Архангельск: ЦНИИМОД, 1987. С. 23–31.
6. Варфоломеев Ю.А., Паромова Т.М., Кузнецова В.В. Биостойкость деревянных конструкций при эксплуатации в контакте с грунтом // Новые исследования в области технологии изготовления деревянных конструкций. Научн. тр. М.: ЦНИИСК, 1988. С. 143–148.
7. Федоров М.П., Романов М.Ф. Математическое основы экологии / Под ред. чл.-корр. РАН В.И. Зубова. СПб.: СПбГТУ, 1999. 156 с.
8. Тутыгин А.Г., Амбросевич М.А. Математическое моделирование в оценке недвижимости. Архангельск: ПГУ, 2007. 60 с.

И.В. КОТЕНЕВА, канд. техн. наук, И.А. КОТЛЯРОВА, инженер (ikotlyarova@list.ru),
В.И. СИДОРОВ, д-р хим. наук, Московский государственный
строительный университет (МГСУ)

Комплексная защита древесины составами на основе боразотных соединений

Древесина является уникальным природным строительным материалом, которому наряду с многочисленными достоинствами – высоким коэффициентом конструктивного качества, экологичностью, декоративностью и легкостью обработки свойственны и недостатки – возгорание и биокоррозия, значительно ограничивающие применение деревянных конструкций. В связи с этим большое значение приобретает модифицирование древесины различными соединениями с целью повышения ее эксплуатационных свойств.

На современном этапе развития науки в области защиты древесины предпочтение отдается элементоорганическим модификаторам [1–3], которые, взаимодействуя с компонентами лигноуглеводного комплекса (ЛУК) древесины, обеспечивают прочное закрепление модификатора в подложке и, следовательно, длительный защитный эффект. Однако среди существующих элементоорганических модификаторов поверхности древесины достаточно проблемными являются коммерчески доступные водорастворимые модификаторы комплексного био- и огнезащитного действия. В связи с этим целью исследования стала разработка таких составов.

В результате анализа литературы по данной проблеме интерес вызвали соединения бора, так как борсодержащие препараты органической и неорганической природы издавна широко используются в качестве антисептиков и антипиренов. Однако в состав известных защитных препаратов входят, как правило, соединения трехкоординационных атомов бора, которые с гидроксильными группами ЛУК древесины не образуют гидrolитически устойчивых связей, что объясняется наличием свободной атомной орбитали во внешнем электронном слое атома бора. В этом случае молекула

воды образует с борсодержащим эфиром целлюлозы комплекс за счет донорно-акцепторной связи между неподеленной электронной парой атома кислорода воды и свободной орбиталью атома бора, который, разлагаясь, приводит к гидролизу сложноэфирной связи [4]. Поэтому трехкоординационные соединения бора быстро вымываются водой из обработанной древесины, обеспечивая лишь кратковременную защиту целлюлозным материалам в качестве антисептиков и антипиренов.

Предположили, что, используя для модифицирования древесины соединения четырехкоординационного атома бора, у которого отсутствуют свободные атомные орбитали, можно стабилизировать сложноэфирную связь и, следовательно, обеспечить длительный защитный эффект древесине. Препараты, содержащие соединения четырехкоординационного атома бора, известны [5, 6], но входящий в их состав тетрафторборат аммония не взаимодействует с компонентами древесины. В то же время некоторые боразотные органические соединения, в которых атом азота, проявляя электронно-донорные свойства, обеспечивает координационное число атома бора, равное четырем, содержат реакционноспособные группы. Но из-за высокой стоимости использовать их для создания защитных составов нецелесообразно [8].

В связи с вышеизложенным была предпринята попытка получения боразотных соединений из коммерчески доступных борной кислоты и аминоспиртов. Были получены составы, содержащие четырехкоординационные боразотные соединения – моноэтиламин ($N \rightarrow B$)-борат и диэтиламин ($N \rightarrow B$)-борат [8–10]. Модифицирование древесины осуществляли при комнатной температуре 50% растворами моноэтиламина ($N \rightarrow B$)-бората и диэтиламина ($N \rightarrow B$)-бората (далее состав 1 и состав 2) методами кистевого нанесения и погружения; расход составлял 150 г/м².

Удельную поверхность модифицированной древесины исследовали методом сорбции [8], водопоглощение измеряли в соответствии с ГОСТ 16483.20–72 в течение 30 сут.

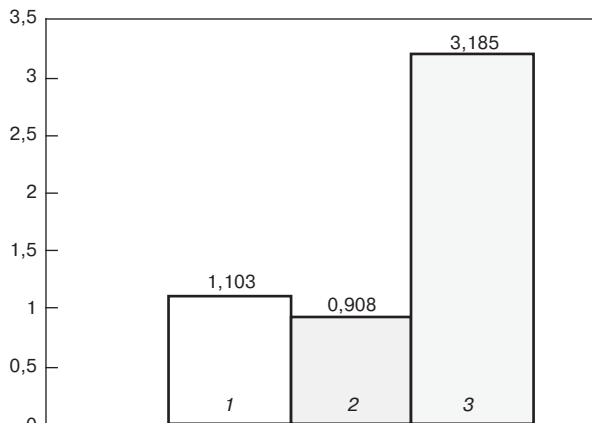


Рис. 1. Удельная поверхность, м²/г, модифицированной древесины и контрольных образцов: 1 – состав 1; 2 – состав 2; 3 – контрольные образцы

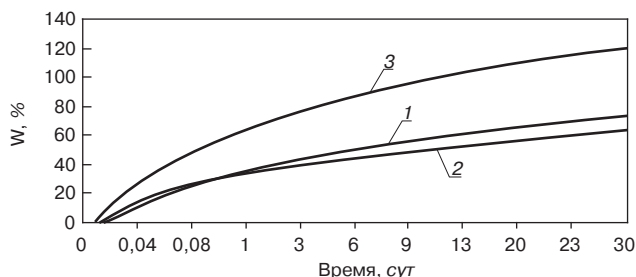


Рис. 2. Водопоглощение модифицированной древесины и контрольных образцов: 1 – состав 1; 2 – состав 2; 3 – контрольные образцы

Таблица 1

Контрольные образцы	Древесина, модифицированная	
	составом 1	составом 2
Вид разрушения		
Адгезионный	Когезионный	Смешанный
Адгезионный	Когезионный	Когезионный
Смешанный	Когезионный	Когезионный
Адгезионный	Когезионный	Когезионный
Адгезионный	Когезионный	Смешанный
Адгезионный	Когезионный	Когезионный
Смешанный	Когезионный	Смешанный
Смешанный	Когезионный	Когезионный
Адгезионный	Когезионный	Когезионный
Адгезионный	Когезионный	Когезионный

На рис. 1 представлены результаты измерений удельной поверхности модифицированной древесины и контрольных образцов. Из рис. 1 видно, что при модифицировании древесины разработанными составами происходит значительное уменьшение удельной поверхности последней (почти в 3 раза).

Это можно объяснить тем, что молекулы модификаторов, проникая в глубь капилляров, химически взаимодействуя с гидроксильными группами лигноуглеводного комплекса древесины, значительно уменьшают сечение последних, что приводит к существенному уменьшению водопоглощения почти в 2 раза (рис. 2) и подтверждает факт химического взаимодействия модификаторов и подложки.

Определение адгезии модифицированной древесины к полярным пленкообразователям проводили методом одномоментного отрыва цилиндра в соответствии с ГОСТ 27325–87. Предварительно образцы модифицированной древесины и контрольные образцы покрывали одним слоем краски ПФ-115 и высушивали в течение 24 ч. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что для немодифицированной древесины характерен адгезионный вид разрушения по границе раздела лакокрасочное покрытие – древесина, а для модифицированной – когезионный, по древесине сосны, так как в этом случае энергия связи между молекулами внутри древесного композита меньше энергии связи ЛКМ и подложки.

Значительному улучшению адгезии ЛКМ к модифицированной древесине способствует увеличение полярности подложки за счет притяжения на ее поверхность полярных амино- и протолитических –ОН групп, входящих в состав модификаторов. При этом высокая адгезионная прочность является результатом проявления межмолекулярных сил взаимодействия. Кроме того, увеличение полярности подложки приводит к более полному смачиванию поверхности модифицированной древесины полярными ЛКМ. Уменьшение удельной поверхности модифицированной древесины также способствует улучшению адгезии, так как уменьшение диаметра капилляров приводит к росту сил капиллярной конденсации и увеличению глубины проникновения ЛКМ в материал.

Биостойкость модифицированной древесины и контрольных образцов изучали в соответствии с ГОСТ 9.048. Исследуемые образцы заражали суспензией спор грибов (плесневых – *Aspergillus niger*, *Aspergillus*

Таблица 2

Модифицирующий состав	Внешний вид образцов после испытаний	Степень роста мицелия, баллы	Биостойкость, %
1	Визуально и под микроскопом чистые	0	100
2	Визуально и под микроскопом чистые	0	100
Контрольный образец	80–85% поверхности поражено грибами	5	0

Таблица 3

Масса образца, г		Потеря массы образца		Средняя потеря массы	
перед сжиганием	после сжигания	г	%	г	%
Состав 1					
123,8	97,7	26,1	21,1	23,4	19,6
121,4	98,3	23,1	19		
112,5	91,4	21,1	18,8		
Состав 2					
123,2	98,1	25,1	20,4	24,5	19,9
113,7	90,6	23,1	20,3		
133,6	108,3	25,3	18,9		

terreus, *Aureobasidium pullulans*, *Paecilomyces varioti*, *Penicillium funiculosum*, *Penicillium ochro-chloron*, *Scopulariopsis brevicaulis*, *Trichoderma viride*; дереворазрушающих – *Serpula lacrimans*, *Antrodia sinuosa*). Оценку микроустойчивости проводили через 28 сут визуально и с помощью оптических средств по степени роста мицелия грибов на поверхности образцов, которую оценивали по пятибалльной шкале. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод: разработанные составы обеспечивают 100% биостойкость модифицированной древесины к поражению плесневыми и дереворазрушающими грибами.

Для определения долговечности защитного действия разработанных составов образцы модифицированной древесины подвергали климатическим испытаниям в камере в атмосфере тепла и влаги при 36°C ±2 и влажности 98% (ГОСТ 9.308–85, метод 6; ГОСТ 9.054–75, метод 1). При таких условиях 10 сут испытаний в камере соответствуют году эксплуатации в натуральных условиях умеренного климата. В соответствии с заключением лаборатории тропических исследований ИПЭ РАН климатические испытания показали, что за счет таких свойств, как грибостойкость и атмосферостойкость, долговечность защитного действия разработанных составов составляет не менее 20 лет.

Огнезащитную эффективность составов оценивали с помощью метода керамического короба в соответствии с ГОСТ 16363–98. Критерием степени огнезащитности служила величина потери массы стандартных образцов после испытаний. Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

В результате проведенных испытаний установлено, что составы обеспечивают II группу огнезащитной эффективности при среднем суммарном их расходе 150 г/м².

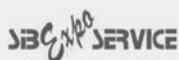
Таким образом, разработанные составы обладают комплексным действием антисептика-антипирена на срок не менее 20 лет. Защитные составы с подобным сроком действия не описаны в литературе. При модифицировании древесины разработанными составами удалось обеспечить высший класс биостойкости, II группу огнезащитной эффективности, значительно снизить водопоглощение и удельную поверхность древесины, а также повысить адгезионную прочность и полярность покрытий. В связи с этим составы 1 и 2 могут применяться в качестве защитных для деревянных конструкций, а также в качестве активных грунтовок под покраску, обеспечивающих длительное антисептирование и антипирирование древесины.

Ключевые слова: элементоорганические модификаторы, борозотные соединения, биостойкость, огнезащитная эффективность, адгезия.

Список литературы

1. *Покровская Е.Н.* Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений. М.: АСВ, 2003. 104 с.
2. *Эрмуш Н.А.* Борсодержащие антисептики и антипирены для защиты древесины. Рига: ЛатНИИТИ, 1988. 63 с.
3. *Скороходов В.Д.* Защита неметаллических строительных материалов от биокоррозии. М.: Высш. шк., 2004. 204 с.

4. *Бутылкина Н.Г., Бекасова Н.И., Тюганова М.А., Роговин З.А.* Синтез гидролитически устойчивых огнезащитных борсодержащих производных целлюлозы. Химия древесины. 1982. № 5. С. 20–24.
5. *Эрмуш Н.А., Андерсоне И.В., Калинин А.Я.* Свойства антисептика Боролит и методы его практического применения. Проблемы модификации древесины, перспективы развития ее производства и применения в народном хозяйстве: Сб. Минск: Польша, 1979. С. 216–219.
6. *Лусе И.С., Крейтус А.Э.* Аммиачные защитные средства: развитие, свойства, фиксация в древесине и ее компонентах // Защита древесины и целлюлозосодержащих материалов от биоповреждений // Тез. докл. всесоюз. конф. Рига, 1989. С. 21–26.
7. *Алекперов Э.Р., Резник А.М.* Комплексы бора: синтез, применение. М.: МГУ, 2000. 208 с.
8. *Сидоров В.И., Котенева И.В., Котлярова И.А.* Природа модифицирования целлюлозы аминоэтилборной кислотой по данным рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. М., 2009. № 4. С. 130–134.
9. *Котенева И.В., Сидоров В.И., Котлярова И.А.* Исследование поверхности целлюлозы, модифицированной аминоэтилборатом // Материалы IV всерос. конф. с международным участием Химия поверхности и нанотехнология. Санкт-Петербург. Хилово, 2009. С. 124–125.
10. *Котенева И.В., Котлярова И.А.* Исследование комплексообразования между борной кислотой и аминспиртами методом ИК-спектроскопии // Материалы XXIV межд. Чугаевской конф. по координационной химии. Санкт-Петербург, 2009. С. 304–305.



**Республика Алтай
Горно-Алтайск
9-11 сентября 2010**



Национальный драматический театр им. П. В. Кучияка, пр. Коммунистический, 16

**Межрегиональная выставка - ярмарка
"ГАЗИФИКАЦИЯ АЛТАЯ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕМОНТ.
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЖКХ"**

Организаторы:
Правительство Республики Алтай,
Министерство регионального развития Республики Алтай,
Администрация Новосибирской области,
Выставочная компания "СибЭкспоСервис-Н", г. Новосибирск

ООО "СИБЭКСПОСЕРВИС-Н"
ТЕЛ. (383) 335 63 50 - многоканальный
E-mail: ses@math.nsc.ru
http:// www.ses.net.ru

Количество отвердителя, %	Значения коэффициентов					
	$L_{max}, \%$			$k, \text{сут}^{-1}$		
	Температура, °C					
	20–25	40–45	100–105	20–25	40–45	100–105
Хлорид бария						
25	1,28	16,11	4,05	1,65	1,31	3,14
50	0,62	10,99	3,36	1,58	2,83	2,73
75	0,49	6,86	2,68	1,56	4,54	2,2
100	0,53	4,78	2,83	0,53	3,12	0,26
Кремнефтористый натрий						
100	5,69	5,06	3,01	0,22	0,28	0,15

Значения эмпирических коэффициентов представлены в таблице, из которой следует, что минимальная усадка материалов, отвержденных $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, наблюдается при температуре отверждения 20–25°C и 100–105°C, а максимальная величина усадки – при 40–45°C. Это можно объяснить тем, что отверждение жидкого стекла осуществляется при протекании двух процессов: физического – испарение физически связанной воды (высыхание) и химического – взаимодействие вяжущего и отвердителя. Скорость химического взаимодействия определяется как концентрацией ионов отвердителя, так и температурой среды; скорость испарения воды закономерно увеличивается с повышением температуры тепловой обработки. Вклад каждого процесса в величину усадки зависит от количества воды, отвердителя и температуры.

При прочих равных условиях (растворы жидкого стекла равной плотности) влияние физического фактора на усадку можно определить по кинетике изменения количества воды (рис. 3).

Анализ рис. 3 показывает, что независимо от температуры твердения увеличение количества отвердителя сопровождается экстремальным изменением потери массы материала. Максимум наблюдается при содержании отвердителя 50–75%. Полученные данные указывают на химическое связывание воды в кристаллогидраты и силикат-гидроксиды при содержании отвердителя 25 и 100%.

Вклад химического фактора возможно оценить по изменению количества силикатов бария и свободного отвердителя в материале (рис. 4).

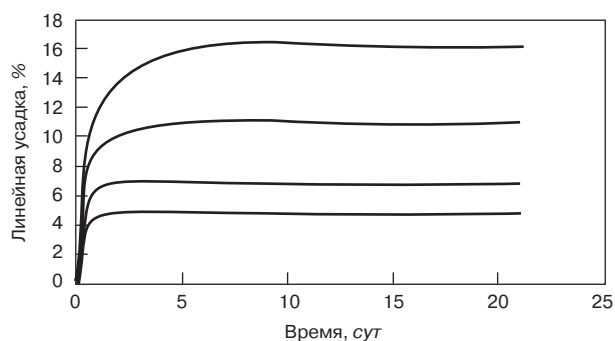


Рис. 2. Кинетика изменения линейной усадки композитов, отвержденных хлоридом бария

Из рис. 4 видно, что зависимости имеют линейный характер: чем меньше отвердителя и ниже температура твердения, тем полнее протекает реакция.

Таким образом, значение усадки определяется фактором, доминирующим в определенных условиях. Для установления управляющего фактора рационально проанализировать изменения кинетического коэффициента уравнения $L = L(t)$.

При температуре 20 и 100°C значение k монотонно возрастает с уменьшением количества отвердителя. Медленное испарение свободной воды при твердении в естественных условиях способствует полному протеканию химической реакции отверждения и образованию больших по объему продуктов реакций. При температу-

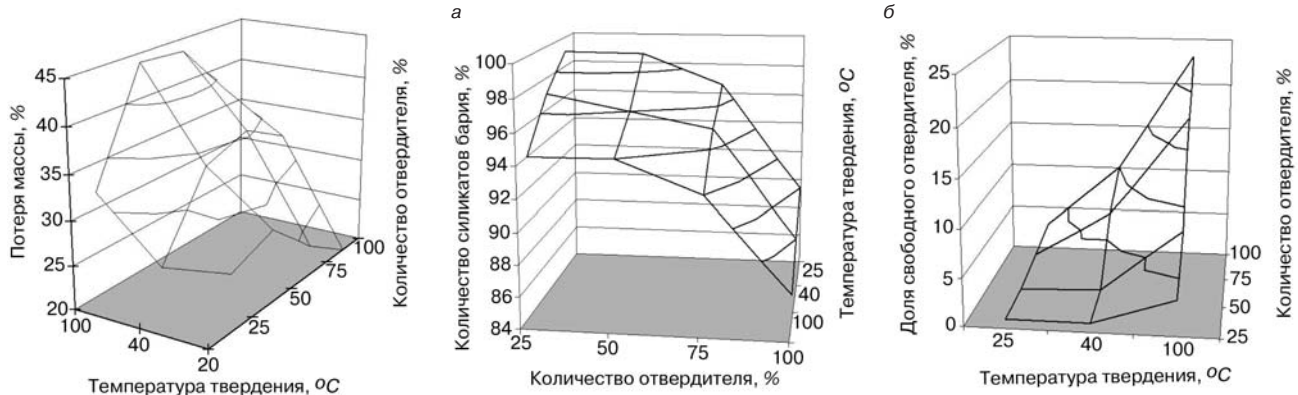


Рис. 3. Зависимость потери массы воды от температуры и количества отвердителя после экспозиции в течение 25 сут

Рис. 4. Зависимость содержания силикатов бария (а) и свободного отвердителя (б) от его количества и условий твердения

ре 100°C происходит только частичное связывание отвердителя в водосодержащие продукты и наполнение смеси частицами не вступившего во взаимодействие отвердителя.

При температуре 40–50°C с увеличением содержания отвердителя происходит образование маловодных силикатов бария, что приводит к уменьшению объема продуктов реакции. При использовании 100% отвердителя высыхание доминирует над протеканием химических реакций и частицы $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ наполняют материал, выполняя функцию наполнителя (рис. 4, б). Поэтому значение k при количестве отвердителя 100% снижается.

Исследования линейной усадки жидкостекольных композитов, отвержденных кремнефтористым натрием, показали, что значение усадки выше, чем при использовании предлагаемого отвердителя, а k имеет невысокое значение.

Анализ данных по кинетике усадки композитов, отвержденных кремнефтористым натрием, также указывает на экстремальный характер его изменения. Высокое значение усадки при температурах 20–50°C свидетельствует об уменьшении объема продуктов взаимодействия и протекании физических процессов отверждения (испарение воды).

Анализ приведенных данных показывает, что для уменьшения усадки радиационно-защитных композиций на основе жидкого стекла эффективно его отверждение хлоридом бария в стехиометрическом соотношении при температуре 20–25°C. Образующиеся силикаты бария снижают усадку композитов, уменьшают величину внутренних напряжений и обеспечивают получение композитов с высоким значением показателей эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: усадка, жидкое стекло, отвердитель, температура твердения, внутренние напряжения, силикаты бария, рентгенофазовый анализ, защита от радиации.

Список литературы

1. Прошин А.П., Соломатов В.И., Гелашвили В.Р. Пленочные материалы для защиты от радиации. М.: ВНИИТПИ, 1998. 89 с.
2. Королев Е.В., Гришина А.Н. Основные принципы создания радиационно-защитных материалов. Определение эффективного химического состава // Изв. Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 6. С. 261–265.
3. Королев Е.В., Гришина А.Н. Выбор отвердителя для радиационно-защитных композиционных материалов на основе жидкого стекла: В кн. «Материалы II всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых». Пенза: ПГУАС, 2007. С. 202–204.
4. Пащенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. Киев: Вища школа, 1975. 444 с.
5. Субботкин М.И., Курицына Ю.С. Кислотоупорные бетоны и растворы на основе жидкого стекла. М.: Стройиздат, 1967. 135 с.
6. Гришина А.Н., Королев Е.В. Структурообразование и свойства композиции «жидкое стекло – хлорид бария» для изготовления радиационно-защитных строительных материалов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 4. С. 70–77.

21-24 СЕНТЯБРЯ

г. УФА 2010

УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ 2010

XX юбилейная специализированная выставка

ФОРУМ УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ

II специализированная выставка

МАЛОЭТАЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

ОРГКОМИТЕТ: (347) 2531433, 2533800, 2531413
E-mail: stroy@bvkeexpo.ru, <http://www.bvkeexpo.ru>

М.Г. ГАБИДУЛЛИН, д-р техн. наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет; А.Н. ГАБИДУЛЛИНА, инженер (gabmah@mail.ru), Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН

Основные принципы моделирования поведения пористой керамики при эксплуатации во влажных условиях

Часть 1

В последние годы наблюдается интенсификация исследований и технологических разработок в производстве эффективной пористой керамики. Это связано, во-первых, с политикой энерго- и ресурсосбережения в области производства стеновых керамических материалов и, как результат, с ужесточением норм по термическому сопротивлению ограждающих конструкций зданий и сооружений, построенных из пористо-пустотелой керамики. Во-вторых, связано с расширением номенклатуры эффективных стеновых керамических материалов, например за счет освоения производства крупноформатных пористо-пустотелых камней и блоков. Отличительной особенностью современной технологии производства эффективной керамики является создание максимальной пустотности изделия при высокой пористости черепка.

Основной отечественный ГОСТ 530–2007 на керамический кирпич и камень регламентирует максимальную пустотность изделий 55%. Но даже при таком максимальном значении пустотности крупноформатного камня однослойные ограждения из них по термическому сопротивлению не соответствуют нормам для многих регионов РФ. Дополнительное увеличение термического сопротивления ограждения может быть достигнуто за счет увеличения пористости черепка введением в состав шихт выгорающих добавок. К сожалению, из-за низкого качества кирпично-черепичных глин – основного сырья для производства стеновой керамики получить высокую пустотность изделий свыше 30% и высокую пористость на отечественных линиях по производству кирпича и камня не удается. Причина – неполная комплектация или отсутствие на них современного мощного глиноперерабатывающего оборудования (вальцев тонкого помола с зазором менее 1 мм, бегунов, глинорастирателей, ленточных прессов с давлением прессования свыше 1,5–2,5 МПа).

Поэтому актуальной задачей является поиск дополнительных резервов в технологии производства пористо-пустотелой керамики и в процессах структурообразования, которые позволят улучшить их теплотехнические характеристики. В [1, 2] разработаны основы управления структурой пористо-пустотелой и ячеистой строительной керамики, базирующиеся на установленных закономерностях двухуровневого изменения параметров структуры: на макроуровне регулированием порового пространства в системе микропоры–резервные поры–макропоры; на микроуровне регулированием структуры черепка в системе поры–стеклофаза–кристаллическая фаза.

Разработанный программный комплекс (ПК) «Структура» [3–5] позволяет для пористой керамики определять динамику трансформации дифференциальной пористости черепка при изменении многокомпо-

нентных составов шихт. Это способствовало разработке методов управления структурой пористой керамики путем введения в состав шихт комплексных модифицирующих добавок и на основе этого разработать технологию получения энерго- и ресурсосберегающих керамических материалов с высокими физико-техническими свойствами.

Ранее было показано, что с использованием ПК «Структура» по изображениям микроструктуры черепка можно оперативно считывать параметры его порового пространства. Экспериментально было установлено, что черепок в пористо-пустотелой керамике сложен из пор различной размерности, которые были разделены на микропоры размером менее 50 мкм, средние поры 50–200 мкм и макропоры более 200 мкм. С использованием известных методов [6–8] установлено, что стенки пор в черепке сформированы определенной долей стеклофазы (СФ), а также кристаллическими новообразованиями и реликтами глинистых составляющих, которые объединены в одну группу – кристаллическую фазу (КрФ).

Алгоритм, заложенный в ПК «Структура», позволяет подсчитывать теплопроводность воздуха в порах различных размеров, а также теплопроводность структурных составляющих черепка. Новые методы моделирования структуры пористой керамики, предложенные в [9, 10], позволили с использованием разработанной методологии [2, 11] рассчитывать значения термического сопротивления, создаваемого в материалах их структурными составляющими – порами любого размера, в том числе микро-, средними и макропорами; стеклофазой и кристаллическими новообразованиями, например муллитом, кристобалитом, шпинелью, гематитом, анортитом и т. д.

В [11] расчеты и исследования проведены для материалов, находящихся в сухих условиях. В проектных расчетах ограждений из керамических материалов при реальных условиях эксплуатации всегда принимается определенное значение влажности материала, регламентируемое нормами. Поэтому научный и практический интерес представляет поведение пористой керамики в условиях эксплуатационной влажности. Учитывая тот факт, что в исследуемой керамике поры занимают значительную долю общего объема материала, следует ожидать, что именно пористость решающим образом будет оказывать влияние на физико-механические и эксплуатационные свойства, в особенности на теплофизические. В связи с этим актуальным является изучение характера увлажнения материала, режимов заполнения пор влагой и их влияния на теплопроводность и термическое сопротивление ограждения из данного материала.

Цель работы – разработка модели поведения пористой керамики в условиях эксплуатации и изменения ее

Размер пор, мкм	Кол-во пор, шт.	Поверхность всех пор		Объем пор			
		см ²	%	открытых, ×10 ⁻³ , см ³	закрытых, ×10 ⁻³ , см ³	всех, ×10 ⁻³ , см ³	%
Микропоры (менее 50 мкм)							
5	35	0,07	0,11	0,005	0,003	0,01	0,001
15	27	0,16	0,27	0,036	0,023	0,06	0,004
20	97	0,75	1,27	0,229	0,145	0,37	0,028
40	220	3,4	5,78	2,079	1,316	3,39	0,251
50	14	0,27	0,46	0,207	0,131	0,34	0,025
<50	393	4,64	7,89	2,555	1,618	4,17	0,308
Резервные поры (50<200 мкм)							
55	9	0,19	0,33	0,161	0,102	0,26	0,019
80	262	8,11	13,78	9,901	6,271	16,17	1,194
120	60	2,79	4,74	5,102	3,231	8,33	0,615
160	109	6,77	11,5	16,477	10,435	26,91	1,988
200	27	2,1	3,57	6,377	4,039	10,42	0,769
50<200	467	19,97	33,92	38,019	24,077	62,1	4,586
Макропоры (200 < 7000 мкм)							
245	82	7,83	13,3	29,064	18,406	47,47	3,506
325	34	4,32	7,34	21,206	13,43	34,64	2,558
410	24	3,86	6,56	27,12	11,79	38,91	2,874
490	12	2,31	3,93	17,013	10,775	27,79	2,052
570	7	1,57	2,68	13,43	8,504	21,93	1,62
730	3	0,87	1,48	9,441	5,977	15,42	1,139
815	2	0,65	1,1	7,848	4,965	12,81	0,946
1020	1	0,41	0,7	6,141	3,893	10,03	0,741
1100	1	0,44	0,75	7,142	4,528	11,67	0,862
1220	2	0,99	1,68	17,585	11,125	28,71	2,12
1590	1	0,65	1,11	14,9	9,46	24,38	1,801
1630	1	0,67	1,14	15,682	9,942	25,62	1,893
1910	1	0,79	1,35	21,533	13,651	35,18	2,599
3300	1	1,44	2,45	64,278	40,751	105,03	7,757
3660	1	1,62	2,76	79,067	50,127	129,19	9,542
5050	1	2,35	3,99	150,527	95,432	245,96	18,165
7000	1	3,47	5,89	289,22	183,361	472,58	34,903
200<7000	175	34,26	58,19	791,196	496,119	1287	95,077
Всех	1035	58,87	100	831,77	521,814	1354	99,971

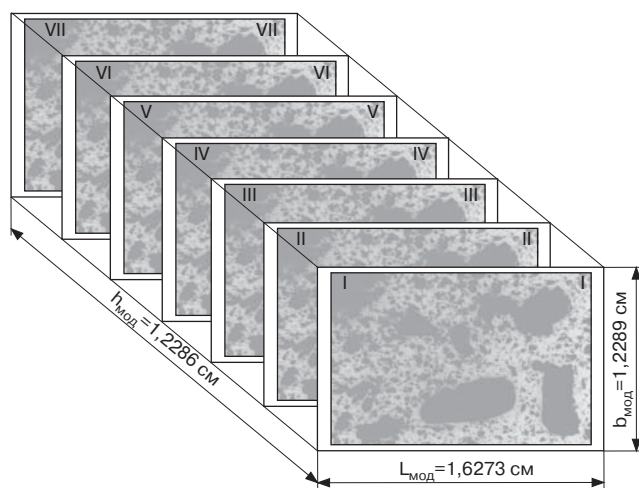


Рис. 1. Схема объемной модели ППК (ДО=20%), S=200 мм²: I-I, II-II... VII-VII – произвольные подобные сечения, имеющие одинаковый характер и размер пор

теплофизических свойств в зависимости от условий увлажнения материала.

При моделировании структуры пористой керамики важна ее высокая однородность, которая должна подтверждаться экспериментально. Для этого важно установить повторяемость характера структуры или доказательство соответствия микрообъема макрообъему. Она должна быть наделена свойствами масштабной инвариантности и рекуррентности. По результатам анализа зависимости изменения характера изображений порового пространства керамики и соответствующих кривых дифференциальной пористости установлены минимальные микрообъемы черепка, которые подобны его макрообъему. Численные значения границ подобия установлены по резкому изменению картины распределения пор на поверхности шлифов при пошаговом уменьшении площади анализируемого участка шлифа, а также по скачкообразному изменению характера кривых дифференциальной пористости [2]. Это позволило создать модель подобия пористого кирпича.

Рассмотрена произвольная объемная модель в виде параллелепипеда размером 1,2289×1,6273×1,2286 см

(рис. 1) черепка пористо-пустотелого керамического кирпича (ППК), изготовленного из типовой кирпично-черепичной глины Республики Татарстан (красногорская глина) с введением в шихту 20% выгорающей добавки в виде древесных опилок. Такой размер модели принят из условия, что его лицевая поверхность имеет площадь 200 мм², равную площади изображений прозрачных шлифов, использованных в предыдущих исследованиях.

Примем следующие допущения в модели: материал модели обладает высокой однородностью; в каждом сечении I–I, II–II, ... VII–VII картина пористости одинаковая, т. е. одинаковые поры пронизывают всю толщину модели, равную $h_{\text{мод}}=1,2286$ см; все поры имеют цилиндрическую форму в виде капилляров с диаметром основания d , вписанному в реальный профиль поры и определяемому как среднearифметическая длина трех хорд, пересекающихся через условный центр поры; объем каждой поры определяем по формуле объема цилиндра $\pi r^2 h = \pi d^2 / 4h$, где r или d – соответственно радиус или диаметр пор; h – длина поры, равная толщине модели.

Установлено, что скелетная часть (стенки пор) модели сложена на 17,93% из СФ и на 42,25% из КрФ. Состав кристаллической фазы следующий: кварца 15,4%; гематита 0,8%; муллита 1,59%; альбита 7,35%; ортоклаза 7,91%; реликтов глинистых минералов 9,84%. Поровое пространство представлено в виде общей пористости, равной $P_o=39,18\%$, в том числе закрытой пористости, равной $P_{\text{закр}}=15,18\%$, и открытой пористости $P_{\text{откр}}=24\%$.

Основные характеристики дифференциальной пористости модели, определенные с использованием ПК «Структура», приведены в таблице. Из нее видно, что в долевом отношении в модели по мере возрастания размеров поры можно расположить в следующий ряд: микропоры – 0,31%; резервные поры – 4,59%; макропоры – 95,08%. Причем во всем интервале размерности пор объем открытых пор выше. Это связано с тем, что при-

нятая технология введения выгорающей добавки для данной модели способствует формированию в нем в основном открытых пор.

Для удобства представления механизма поведения модели во влажностных эксплуатационных условиях с учетом расчетных структурных характеристик и принятых допущений общая структура модели при сухих условиях эксплуатации представлена в виде схемы (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что общий объем модели $V_{\text{мод}}$ складывается из объема стеклофазы $V_{\text{СФ}}$, кристаллических новообразований $V_{\text{КрФ}}$ и объема пор $V_{\text{пор}}$, причем поровое пространство материала суммируется из объема открытых $V_{\text{откр}}$ (кривая I) и закрытых $V_{\text{закр}}$ пор (кривая II).

Объем модели равен:

$$V_{\text{мод}} = V_{\text{СФ}} + V_{\text{КрФ}} + V_{\text{откр}} + V_{\text{закр}}; \quad (1)$$

$$V_{\text{КрФ}} = V_{\text{кв}} + V_{\text{гем}} + V_{\text{м}} + V_{\text{а}} + V_{\text{орт}} + V_{\text{рел.г}}, \quad (2)$$

где, $V_{\text{кв}}$, $V_{\text{гем}}$, $V_{\text{м}}$, $V_{\text{а}}$, $V_{\text{орт}}$, $V_{\text{рел.г}}$ – объемы соответственно кварца, гематита, муллита, альбита, ортоклаза и реликтов глинистых минералов;

$$V_{\text{откр}} = \sum_{i=0}^n \pi r_i^2 n_{\text{откр}} h; \quad (3)$$

$$V_{\text{закр}} = \sum_{i=0}^n \pi r_i^2 n_{\text{закр}} h; \quad (4)$$

где r_i откр, r_i закр – соответственно радиусы открытых и закрытых пор, мкм; h – длина пор, мкм; $n_{\text{откр}}$, $n_{\text{закр}}$ – количество открытых и закрытых пор данного размера.

Рассчитаем объем модели по формуле:

$$V_{\text{мод}} = V_{\text{сф}} + (V_{\text{кв}} + V_{\text{гем}} + V_{\text{м}} + V_{\text{а}} + V_{\text{орт}} + V_{\text{рел.г}}) + \sum_{i=0}^n \pi r_i^2 n_{\text{откр}} h + \sum_{i=0}^n \pi r_i^2 n_{\text{закр}} h. \quad (5)$$

Примем, что скелет модели (СФ+КрФ) не претерпевает под воздействием влаги изменений, т. е. нижняя

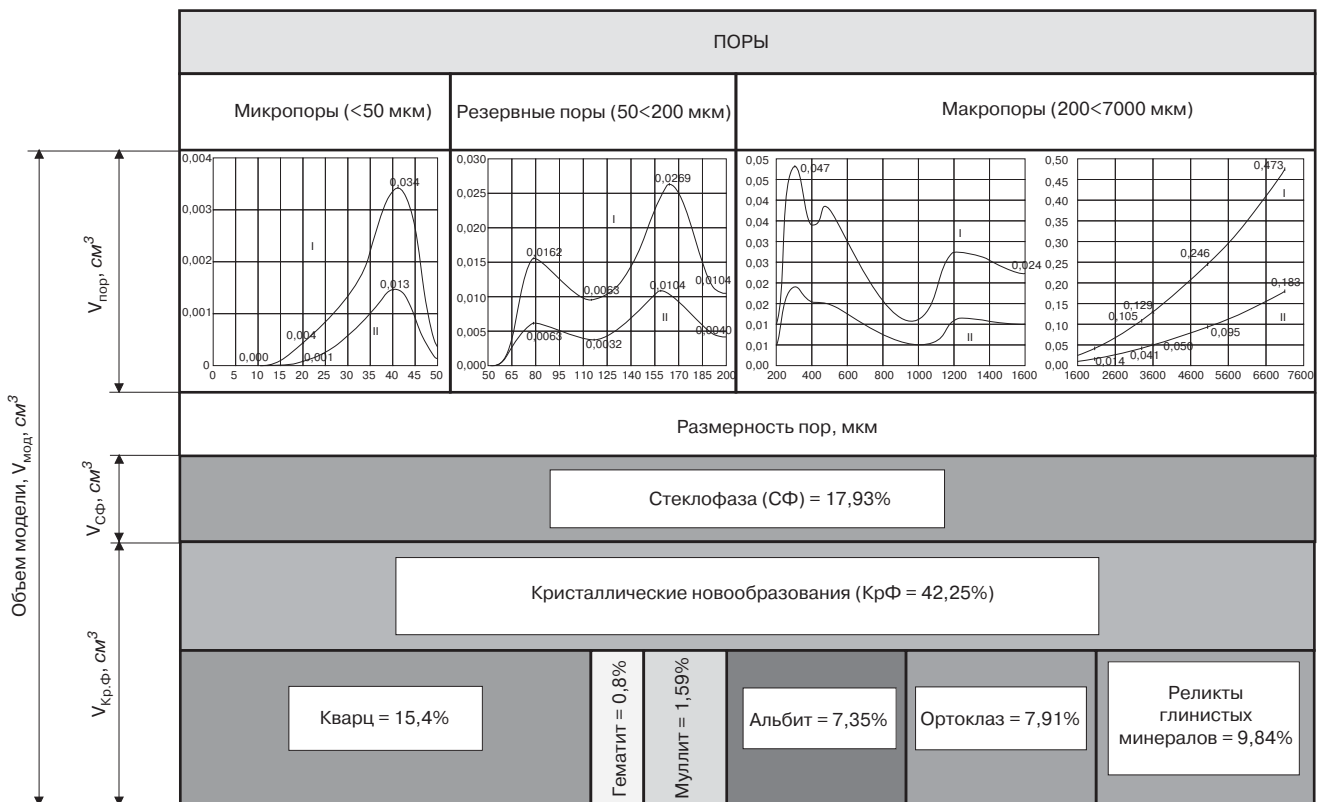


Рис. 2. Структурная модель ППК. ДО=20%, W=0%

часть модели по рис. 2 остается без изменений (const), а меняется только верхняя.

Таким образом, на основании экспериментальных данных, полученных в более ранних работах, разработаны две структурные модели ППК: объемная модель пор и общая структурная модель черепка пористо-пустотелой керамики. На первой видна общая картина пористости черепка, по которой с помощью ПК «Структура» установлена дифференциальная пористость модели в системе микропоры—резервные поры—макропоры; на второй — численные характеристики структурных составляющих в системе поры—стеклофаза—кристаллические новообразования.

Благодаря этим структурным моделям можно в дальнейшем исследовать картины последовательного наполнения пор в ППК и, как результат, изменение термического сопротивления модели при изменении условий эксплуатационной влажности. Поэтому для изучения поведения пористо-капиллярной структуры эффективных керамических материалов в изменяющихся влажностных условиях эксплуатации разработаны имитационные модели их порового пространства. В эксплуатационных условиях поры модели могут заполняться влагой в результате капиллярного всасывания, конденсации и водонасыщения. В этих условиях возможны разные варианты решения задачи по определению термического сопротивления ограждения, выполненного из принятой модели.

Рассмотрим четыре модели:

— модель I — эксплуатация в абсолютно сухих условиях;

— модель II — эксплуатация во влажных условиях; согласно СНиП II-3-79* примем режим Б, когда расчетное массовое отношение влаги в кирпичной кладке из керамического пустотного кирпича на цементно-песчаном растворе равно 2%; примем, что открытые поры модели полностью заполняются водой, последовательно начиная с микропор (<50 мкм), затем резервных (50<200 мкм) и в конце макропор (200<7000 мкм); закрытые поры остаются сухими и не заполняются влагой;

— модель III — эксплуатация в тех же условиях, что и модель II; примем, что открытые и закрытые поры модели полностью заполняются водой в следующей последовательности: вначале микропоры (<50 мкм), затем резервные (50<200 мкм) и в конце макропоры (200<7000 мкм);

— модель IV — эксплуатация в тех же условиях, что и модели II, влажность материала 2% за счет конденсации пара на стенках открытых пор; толщину пленки воды на стенках пор примем из расчета заполнения 50% объема открытых пор водой; закрытые поры не участвуют в процессе.

Ключевые слова: имитационная модель порового пространства, пористая керамика, теплофизические свойства.

Список литературы

1. Габидуллин М.Г., Гильфанов Р.М., Рахимов Р.З. Методология определения и представления структуры черепка пористой керамики в системе поры—стеклофаза—кристаллические новообразования // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 9. С. 20—32.
2. Габидуллин М.Г. Методология регулирования теплофизических свойств эффективных стеновых керамических материалов: Сб. трудов Академических чтений РААСН «Новые научные направления строительного материаловедения». Ч.1. Белгород. 2005. С. 131—144.
3. Габидуллин М.Г., Киямов И.Х. Структура // Свидетельство об официальной регистрации программы

для ЭВМ № 20046611087 от 29.04.2004 в Роспатенте по заявке № 2003612545 от 4.12.2003.

4. Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З., Темляков А.В. Методология исследования характера пор черепка эффективных строительных керамических материалов с помощью ПК «Структура» // Строит. материалы. 2005. № 5. С. 15—16.
5. Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З., Темляков А.В. Исследование пор керамических строительных материалов с использованием программного комплекса «Структура» // Строит. материалы. 2005. № 7. С. 50—53.
6. Комохов П.Г., Грызлов В.С. Структурная механика и теплофизика легкого бетона. Вологда: Изд-во Вологодского научного центра Ленинградского отд. АН РСФСР. 1992. С. 128—129.
7. Чумаченко Н.Г., Чудин А.Н. Компьютерная оценка минерального сырья для производства пористых заполнителей // Строит. материалы. 1999. № 4. С. 25—26.
8. Горшков В.С., Савельев В.Г., Абакумов А.В. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы. Структура и свойства. Справочное пособие. М.: Стройиздат, 1995. 575 с.
9. Габидуллин М.Г. Новые виды пористой керамики и моделирование их структуры // Вестник БГТАСМ, 2003. № 5. Ч. 2. С. 67—73.
10. Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З., Морозов В.П. Моделирование структуры черепка эффективной стеновой керамики, полученной путем регулирования ее пористости введением выгорающих добавок: В сб. трудов годичного собрания РААСН «Ресурсо- и энергосбережение как мотивация творчества в архитектурно-строительном процессе». Москва—Казань. 2003. С. 362—366.
11. Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З. Влияние размера пор на термическое сопротивление пористой керамики // Строит. материалы. 2005. № 11. С. 49—51.



БЕЛГОРОДСКАЯ
ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА



➤ БЕЛЭКСПОЦЕНТР

4-6 августа 2010

VI БЕЛГОРОДСКИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ



Межрегиональная
специализированная выставка

СОВРЕМЕННЫЙ ГОРОД

СТРОЙИНДУСТРИЯ

ЯРМАРКА
НЕДВИЖИМОСТИ

ЭНЕРГЕТИКА.
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.
ЭКОЛОГИЯ



Т./ф.: (4722) 58-29-51, 58-29-50, 58-29-41
E-mail: belexpo@mail.ru; www.belexpocentr.ru
г. Белгород, ул. Победы, 147-а

Ю.А. БЕЛЕНЦОВ, канд. техн. наук (belents@mail.ru), Петербургский государственный университет путей сообщения

Моделирование работы композиционных анизотропных материалов в условиях сейсмических воздействий

Современное строительство зданий и сооружений непосредственно связано с восприятием конструкциями и материалами внешних динамических нагрузок: воздействие транспорта и машин, механизмов, сеймики и ветровой нагрузки на высотные здания и т. д. Поэтому принципиально важна способность материалов в конструкции без разрушения структуры воспринимать внешнюю дополнительную работу за счет взаимодействия внутренних структурных элементов разных геометрических размеров и уровня значимости. Необходимо создать эффективный баланс внешних и внутренних сил в материале.

Поскольку работа внешних сил мало поддается регулированию, необходимо при проектировании использовать материалы, способные запасать, поглощать и диссипировать энергию без ухудшения эксплуатационных свойств. Использование хрупких, хотя и высокопрочных материалов, опасно в силу ограниченной возможности восприятия внешней энергии. Даже небольшое воздействие приводит к образованию и лавинообразному продвижению трещин, что приводит к разрушению материала. Материал, обладающий вязкопластичными свойствами, более полно включается в работу и позволяет воспринять большее внешнее воздействие.

Способность материала запасать, поглощать и диссипировать внешнюю энергию связана с показателем удельной работы деформирования, совершаемой над единицей объема материала без нарушения структуры [1].

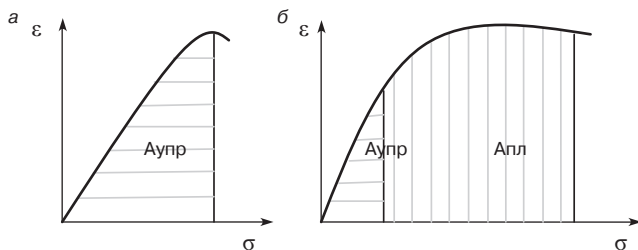


Рис. 1. График удельной работы деформирования материалов: а – хрупких; б – вязкопластичных

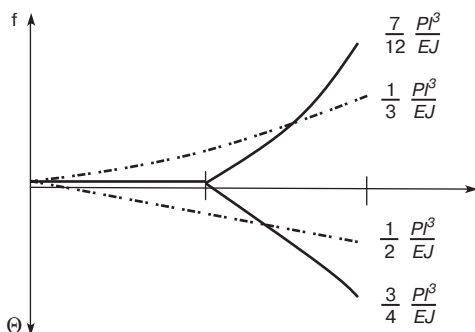


Рис. 3. Прогиб и угол поворота консольных балок из идеализированного изотропного и анизотропного материала

Потенциальная возможность восприятия внешней энергии связана с понятием энергоемкости материала, то есть с количеством энергии, которое способен воспринять материал. Хрупкие материалы работают эффективно до образования магистральной трещины с малой протяженностью автомодельной зоны, то есть объемом материала, вовлеченном в пластические деформации [2, 3]. Материалы, проявляющие пластические и вязкие свойства, более полно вовлекают в работу объем материала, в котором развиваются сдвиговые и другие деформации структурных элементов и микротрещины, изменяющие объем и форму образца [4].

Рассмотрим энергоемкость материалов на примере упругих и вязкопластичных с одинаковым пределом временного сопротивления (рис.1). Отчетливо видно, что при одинаковой прочности хрупкие материалы потенциально воспринимают меньший объем работы внешних сил. Вязкопластичная составляющая деформации материала позволяет существенно увеличить потенциал его энергоемкости, но при этом ограничивает возможность его применения из-за существенного снижения деформативности сооружения.

Возможное решение проблемы – это использование композиционных материалов с эффективной энергоемкостью при сохранении высокой прочности и деформативности. Это возможно за счет применения анизот-

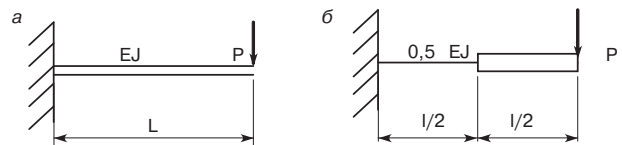


Рис. 2. Расчетная схема консольного изгиба: а – изотропной балки; б – анизотропной балки (двухслойной балки)

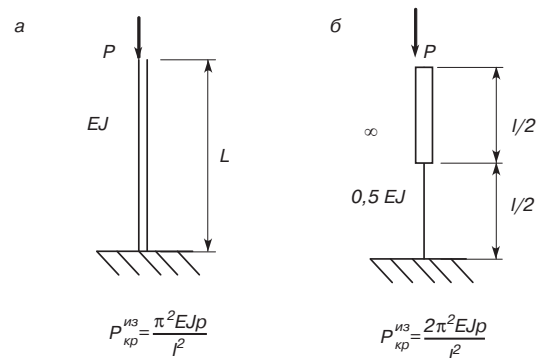


Рис. 4. Расчетная схема для определения критической силы сжатого стержня из идеализированного материала: а – изотропного; б – анизотропного

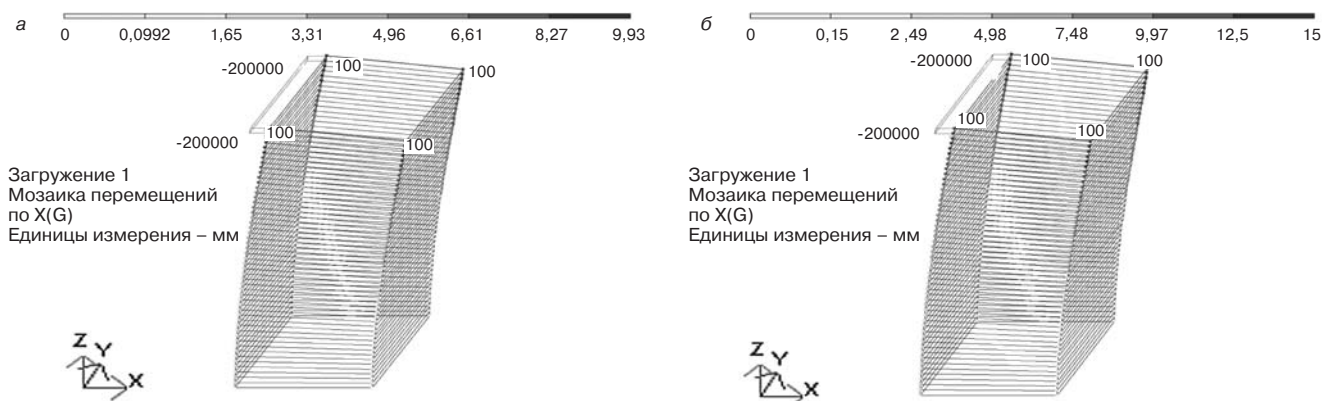


Рис. 5. Деформация образцов при вертикальной нагрузке 10 МПа и сопоставимой горизонтальной нагрузке: а – изотропного бетона $E=275 \cdot 10^3$ кгс/см²; б – композиционный анизотропный материал на основе вяжущего с двумя типами слоев соответственно с $E=100 \cdot 10^3$ кгс/см² и $E=450 \cdot 10^3$ кгс/см²

ропных композиционных материалов. Примером может быть кирпичная кладка. Существует опыт эксплуатации кирпичной кладки в зданиях, возведенных в условиях сейсмических нагрузок.

Современные кирпичные здания на хрупком кирпиче и жестком малодеформативном цементном растворе зарекомендовали себя малоэффективными для строительства в сейсмических районах. Причины этого кроются в несоблюдении технологии возведения, снижении или отсутствии контроля прочности используемого раствора и кирпича, ограниченной прочности сцепления кирпича и раствора. Это приводит к существенным повреждениям таких зданий в результате землетрясения.

Однако композиционные анизотропные материалы за счет высокой энергоемкости при соблюдении оптимального состава и технологии могут эффективно использоваться для строительства в сейсмически опасных регионах. Передача усилий между структурными элементами различной деформативности и геометрических размеров приводит к эффективному гашению и перераспределению внешних сейсмических воздействий по сравнению с изотропными материалами.

Примером эффективного использования анизотропного материала может служить сравнение идеализированной консольной балки при одинаковой нагрузке и сопоставимом модуле деформации (рис. 2). Идеализированная балка из композиционного анизотропного материала состоит из двух участков. Первый участок жесткий, с модулем деформации, стремящимся к бесконечности; второй – мягкий, с модулем деформации, равным половине изотропного материала. При одинаковых деформациях сжатия прогибы консольных балок и угол поворота сечения будут существенно различаться. При достаточном количестве слоев в анизотропной композиции они будут приближаться к предложенной идеализированной модели. Из сравнения результатов видно (рис. 3), что балки из анизотропных материалов показывают большие прогибы без разрушения, а значит, обладают большей энергоемкостью.

Коэффициент продольной устойчивости и критическая сила сжатых консольных стержней из идеализированных изотропных и анизотропных материалов будут отличаться (рис. 4).

Для подтверждения приведена компьютерная модель деформации консольной анизотропной и изотропной балки с одинаковым средним модулем деформаций, высотой 1 м и сечением 40×40 см (рис. 5).

Поперечные деформации композиционных анизотропных материалов при сопоставимых нагрузках в 1,5 раза выше вертикальных. Это приводит к интенсивному развороту элементов, подвергающихся наибольшему воздействию поперечных сил. Разворот сечения составил 1,5–2 градуса, что отражается на схеме работы материала.

При использовании композиционных анизотропных материалов снижаются собственные частоты колебаний конструкции по сравнению с изотропным материалом с 3,9 до 2,9 Гц, что отражается на восприятии динамических нагрузок. Снижаются действующие на элемент силы за счет разворота сечения, этот эффект составляет 3,5% при подобном угле разворота. Возникает отталкивающая сила, которая стремится сбросить элемент с конструкции и которая компенсируется вертикальным прижимом. Нагрузка, ранее действующая по наиболее невыгодному направлению, сдвигающая элементы композиционных анизотропных материалов относительно друг друга, становится менее значима из-за наклона относительно плоскости стыкования элементов.

Более жесткий элемент с меньшим коэффициентом поперечных деформаций – анизотропный наполнитель – играет роль обжимающего, а значит, армирующего эффекта для более деформативных элементов. При достижении предельных значений сдвиговых усилий формируется элемент сухого трения. После образования трещины на участке сцепления соседних элементов композиционных анизотропных материалов при формировании элемента сухого трения возможно восприятие нагрузки до 70% вертикальной. Проблемой является формирование единого композиционного материала с высокой адгезией отдельных слоев друг другу, но это решается подбором состава отдельных структурных элементов и мероприятий, повышающих адгезию и прочность при срезе.

Таким образом, чередование жестких и деформативных слоев в композиционном анизотропном материале при сохранении модуля деформаций позволяет повысить энергоемкость материалов, следовательно, эффективность их использования в условиях динамических и сейсмических воздействий.

Ключевые слова: композиционный материал, анизотропия, деформативные свойства, сейсмостойкое строительство.

Список литературы

1. Филлин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Т. 1. М.: Наука, 1975. 828 с.
2. Плювинаж Г. Механика упругопластического разрушения. М.: Мир, 1993. 448 с.
3. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. 640 с.
4. Комохов П.Г., Беленцов Ю.А. Реологические модели, используемые для прогнозирования свойств материалов, учитывающие их характер деформирования // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2005. № 3. С. 87–89.

Д.А. ШАСТИН, инженер (shastind.a@gmail.com), А.Р. ГАЛИМЗЯНОВА, канд. хим. наук, Т.В. МАКАРОВ, канд. техн. наук, С.И. ВОЛЬФСОН, д-р техн. наук, Казанский государственный технологический университет

Расширение областей применения этиленпропилендиенового каучука путем его направленной модификации

Этиленпропилендиеновый каучук (СКЭПТ) – промышленно крупнотоннажно выпускаемый в России каучук. Благодаря полной насыщенности основной цепи СКЭПТ характеризует высокое сопротивление озонному и тепловому старению, стойкость к действию агрессивных сред. Низкая удельная масса каучука позволяет создавать материалы на его основе с соответственно меньшей массой [1]. Резины на основе СКЭПТ имеют высокие физико-механические показатели, обладают хорошими диэлектрическими свойствами, легко перерабатываются, и при этом их стоимость умеренная. Однако области применения композиций на основе СКЭПТ несколько ограничены ввиду их низкой адгезии к различным субстратам. Решением данной проблемы может стать направленная модификация каучука реакционноспособными агентами, позволяющими увеличить его адгезионные свойства, что даст возможность расширить области применения композиций на основе СКЭПТ.

Известно применение бифункциональных органосиланов в качестве промоторов адгезии и сшивающих агентов органических полимеров [2, 3].

Модификация каучука СКЭПТ путем прививки бифункционального органосилана представляется весьма актуальным направлением, что позволит существенно нивелировать низкие адгезионные свойства композиций на основе СКЭПТ.

В качестве объектов исследования были использованы каучук марки СКЭПТ-70, промышленно выпускаемый на ОАО «Нижнекамскнефтехим», винилтриэтоксисилан. Инициатор образования радикалов – перекись дикумила марки Perkadox BC-FF. В качестве катализатора процесса гидролиза использовали дибутилолово-дилаурат (ТУ 6-02-1-002–88).

Прививку винилтриэтоксисилана к каучуку СКЭПТ-70 проводили на стадии смешивания в двухроторном смесителе Vrabender. Дозировка силана составляла 2 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Инициатором образования радикалов являлся перексид дикумила. Процесс смешивания осуществляли при 160°C в течение 12 мин. Пластины для дальнейших экспериментов изготавливали толщиной 2 мм в прессе под давлением 5 МПа при 150°C в течении 5 мин. Далее проводили процесс сшивания каучука, для чего образцы термостатировали в горячей воде при 95°C в течение 5 ч. Кондиционирование образцов выполняли в термошкафу под вакуумом при 80°C в течение двух часов.

Структуру исследуемых композиций изучали методом ИК-спектроскопии на ИК-Фурье-спектрометре Spectrum BX II фирмы Perkin Elmer. Спектры регистрировали при разрешении 0,8 см⁻¹ в области волновых чисел от 400 до 4000 см⁻¹. Образцы для исследований приготавливали в виде тонких пленок.

Адгезию модифицированного каучука к образцу рулонного кровельного покрытия на основе СКЭПТ оценивали методами отслаивания (ГОСТ 6768–75) и сдвига (ГОСТ 14759–69). Исследования проводили на разрывной машине Tensonometr-10 со скоростью движения верхнего зажима 50 мм/мин.

Термическую стабильность образцов изучали методами термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) на термoанализаторе SDT Q600 в динамическом режиме со скоростью нагрева 5°C/мин и скоростью подачи газа (воздушная среда) 100 мл/мин в диапазоне 23–600°C.

Термостабильность определяли методом ДСК в изотермическом режиме при температуре нагрева образцов 180°C на калориметре DSC-1 компании Mettler Toledo.

Таблица 1

Композиции	Прочность при отслаивании, МПа	Характер отрыва при отслаивании	Прочность при сдвиге, МПа	Характер отрыва при сдвиге
СКЭПТ	0,011	Адгезионный	0,1	Адгезионный
СКЭПТ с ПДК	0,012	Адгезионный	0,12	Адгезионный
Силанольносшитый СКЭПТ	0,065	Когезионный	0,15	Когезионный

Таблица 2

Композиции	Температура (°C), при которой происходит потеря массы, %		
	10	50	95
СКЭПТ	342	400	477
СКЭПТ с ПДК	365	416	481
Силанольносшитый СКЭПТ	402	420	505

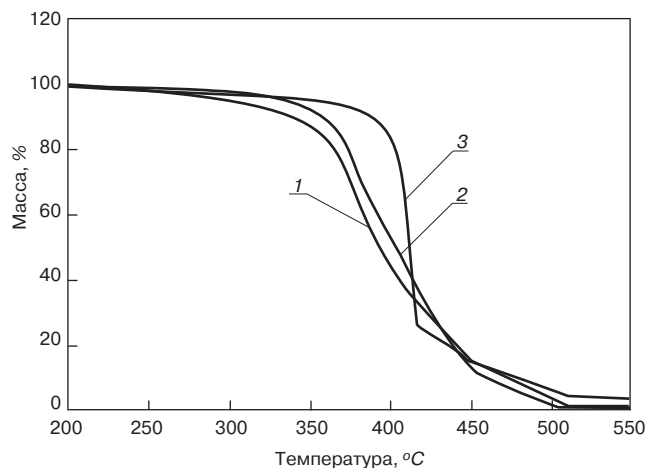


Рис. 1. Термогравиметрические кривые: 1 – СКЭПТ; 2 – СКЭПТ с ПДК; 3 – силанольноштитый СКЭПТ

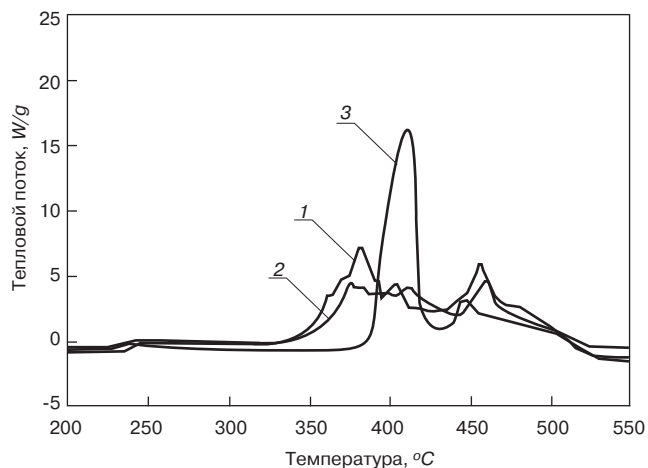


Рис. 2. Графики теплового потока: 1 – СКЭПТ; 2 – СКЭПТ с ПДК; 3 – силанольноштитый СКЭПТ

Таблица 3

Показатели	Составы		
	СКЭПТ	СКЭПТ с ПДК	Силанольноштитый СКЭПТ
Температура начала деструкции, °С	325	321	375
Максимум экзотермических эффектов, °С	380	375	417

При исследовании ИК-спектра силанольноштитого СКЭПТ наблюдается появление нового пика при 1074 см^{-1} , располагающегося в интервале волновых чисел $1020\text{--}1090\text{ см}^{-1}$, что соответствует волновым колебаниям группы Si-O-Si [4]; появление нового пика на спектре силанольноштитого СКЭПТ подтверждает факт поперечной сшивки модифицированных силаном макромолекул каучука.

Поскольку одна из сфер применения силанольноштитого СКЭПТ – получение на его основе герметиков и мастик для кровельной промышленности, представляло интерес исследование адгезии силанольноштитого СКЭПТ к вулканизированной резине на основе СКЭПТ. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Из приведенных данных видно, что адгезия при отслаивании каучука СКЭПТ в результате его модификации органосиланом возросла в 6 раз, а адгезия при сдвиге увеличилась на 50%. Характер разрушения образцов силанольноштитого СКЭПТ при отслаивании и сдвиге является когезионным. Ввиду того что когезионная прочность при физико-механических испытаниях после модификации СКЭПТ силаном оставалась на прежнем уровне, можно сделать вывод, что достигнутый эффект является следствием увеличения адгезии каучука к поверхности субстрата.

На рис. 1 представлены термогравиметрические кривые исходного СКЭПТ, СКЭПТ в присутствии перекиси дикумила и силанольноштитого СКЭПТ.

По представленным термогравиметрическим кривым (рис. 1) определяли температуру, при которой происходит потеря 10% ($T_{10\%}$), 50% ($T_{50\%}$) и 95% ($T_{95\%}$) массы образца. Результаты представлены в табл. 2.

По приведенным данным можно судить о том, что лучшей термической стабильностью обладает модифицированный силанольноштитый СКЭПТ. К примеру, диапазон температуры при 10% потери массы между исходным СКЭПТ и модифицированным достигает 60°C . При нагреве свыше 500°C наблюдается 100% потеря массы образцов исходного СКЭПТ и СКЭПТ с перекисью дикумила, в то время как образец модифицированного СКЭПТ потерял 96% своей массы.

График теплового потока также подтверждает увеличение термостабильности СКЭПТ после модификации (рис. 2). Данные дифференциально-сканирующей калориметрии представлены в табл. 3. Начало термического разложения исходного СКЭПТ зарегистрировано при 320°C , а модифицированного – при 375°C . Причиной повышения термостойкости силанольноштитого СКЭПТ является высокая энергия связи Si-O (в среднем 450 кДж/моль против 360 кДж/моль для связи C-C в карбоцепных полимерах), образованной в результате сшивки силаном макромолекул каучука.

Термическая стабильность была также подтверждена методом ДСК в изотермическом режиме при 180°C . Установлено, что большей термической стабильностью обладает силанольноштитый СКЭПТ.

Начало термического разложения модифицированного СКЭПТ зафиксировано на 230-й минуте нагрева образца. Исходный СКЭПТ проявляет стойкость к действию температуры в течение 140 мин. Таким образом, термостойкость силанольноштитого каучука выше немодифицированного СКЭПТ на 65%.

Ключевые слова: силан, этиленпропилендиеновый каучук, адгезия, термостойкость.

Список литературы

1. Охотина Н.А., Хусаинов А.Д. Основные принципы построения рецептур резиновых смесей. Казань: КГТУ, 2002. 26 с.
2. Shun Zh., Zhengzhou W., Yuan Hu. Melt grafting of vinyltrimethoxysilane and water crosslinking of polypropylene / ethylene – propylene diene terpolymer blends // Polymer Res.2009. v. 16. P. 173–181.
3. Волков В.П. и др. Механохимическая модификация полиэтилена винилтриэтоксисиланами // Пластические массы. 2004. № 10. С. 33–39.
4. Казичина Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ, ЯМР ИК-спектроскопии в органической химии. Москва: Химия, 1971. 256 с.

В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, канд. геол.-минер. наук,
А.В. МОСЬПАН, А.В. МАКСАКОВ, инженеры,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Стеновые автоклавные силикатные материалы пониженной теплопроводности с гранулированными заполнителями

Высокая потребность строительной отрасли в эффективных теплоизоляционных строительных материалах для массового жилищного и промышленного строительства выдвигает требование улучшения их эксплуатационных теплофизических характеристик. При этом особую значимость приобретает выбор заполнителей, способных существенно снизить теплопроводность традиционных стеновых материалов – силикатных автоклавных на основе известково-песчаного вяжущего и бетонных на основе цемента.

Если для строительных материалов на основе цемента создана и применяется весьма обширная номенклатура природных и искусственных заполнителей с широким спектром потребительских свойств по экономичности, прочности, пористости, теплопроводности и др., то для силикатных материалов автоклавного твердения выбор невелик. Ассортимент легких природных заполнителей неширокий и характеризуется явно выраженной региональной привязкой, неизбежно повышающей транспортную составляющую себестоимости товарного материала. Получение искусственных легких заполнителей, как правило, связано с энергозатратными термическими процессами обжига, вспучивания либо вспенивания.

Производимые легкие заполнители существенно отличаются по физическим и химическим свойствам от бетонных и силикатных матриц. Коэффициенты термического расширения, водопоглощение и др. отличаются на порядок и более, что разупрочняет контактную зону матрица–заполнитель и уменьшает атмосферостойкость стеновых изделий в целом. Используемые в настоящее время заполнители для стеновых материалов не защищают их от насыщения влагой. Сорбционная влажность стеновых материалов достигает 8–12 мас. % и существенно ухудшает их теплоизолирующие свойства [1].

На кафедре «Строительные материалы, изделия и конструкции» БГТУ им. В.Г. Шухова разработаны новые активные гранулированные заполнители (АГЗ), взаимодействующие с матрицей стенового материала при гидротермальной и автоклавной обработках.

Активный гранулированный заполнитель размером гранулы 1,5–10 мм состоит из ядра и защитной оболочки. Ядром является совместно молотая, гранулированная смесь из кремнеземистого компонента и гидроксида щелочного металла. Защитная оболочка вокруг ядра гранулы, состоящая из молотой извести и кремнефтористого натрия, не позволяет водорастворимому гидроксиду щелочного металла перейти в раствор при приготовлении смеси, формовании и твердении бетонных либо силикатных изделий. Кремнефтористый натрий обеспечивает достаточную водостойкость АГЗ. Использование полученных гранул при получении стеновых материалов показывает, что их потребительские характеристики можно изменять в широком диапазоне [2, 3].

Модифицирующее действие АГЗ проявляется в том, что после гидротермальной обработки стенового изде-

лия четкая граница между заполнителем и матрицей изделия не наблюдается, так как гидросиликаты натрия по мере образования в ядре гранулы проникают сквозь защитную оболочку и насыщают матричный материал на глубину 2–3,5 мм, омоноличивая, упрочняя и герметизируя формирующуюся при этом пору с небольшими остатками непрореагировавшего материала. При этом чем больше в исходном сырье ядра гранулы кремнезема в аморфном состоянии, тем полнее протекает растворение ядра и тем изолированнее получаются поры и соответственно снижается теплопроводность получаемого стенового изделия.

При концентрации АГЗ 40 мас. % образующаяся замкнутая пористость и модификация матрицы в межпоровом пространстве новообразованиями гидросиликатов натрия позволяют уменьшить сорбционную влажность силикатных материалов на 40%, а бетонов – на 42% по сравнению с бездобавочными материалами (рис. 1).

Анализ изменений прочностных показателей силикатного материала и бетона показывает, что снижение прочности в силикатном композите в результате введения АГЗ происходит гораздо медленнее, чем в бетонном (рис. 2).

Формирование замкнутой пористости в изученных строительных композитах приводит к существенному снижению теплопроводности: в бетонных изделиях при содержании АГЗ 60 мас. % снижение теплопроводности наблюдается в 3 раза, в силикатных изделиях – в 7 раз (рис. 3).

Рентгенограммы силикатных автоклавных материалов, с одинаковым исходным составом вяжущего (20 мас. % кварца и 80 мас. % извести), с АГЗ и без них, приведены на рис. 4. Как видно, фазовый состав материала представлен кварцем, портландитом и кальцитом. Селективных отражений других кристал-

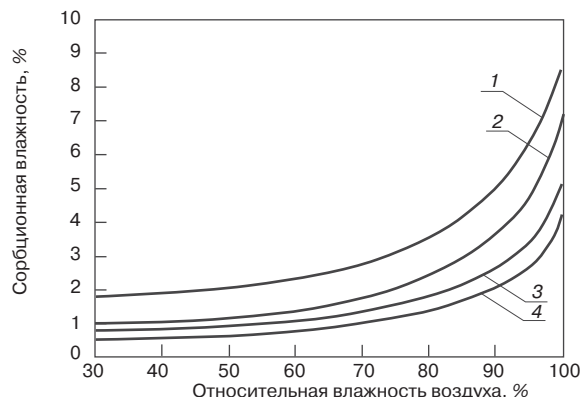


Рис. 1. Зависимость сорбционной влажности стеновых материалов от относительной влажности воздуха: 1 – бездобавочный силикатный; 2 – бетонный; 3 – силикатный с добавкой 35 мас. % активных гранул; 4 – бетонный с добавкой 35 мас. % активных гранул

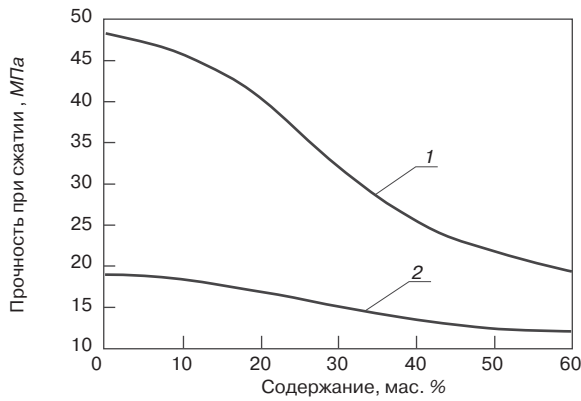


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии бетонных (1) и силикатных (2) стеновых материалов от содержания в них АГЗ

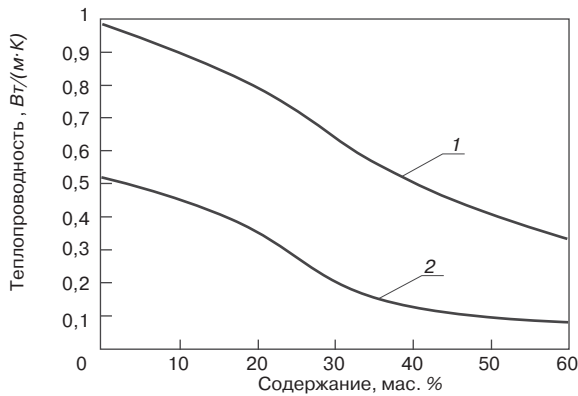


Рис. 3. Зависимость теплопроводности стеновых материалов на основе цементного (1) и силикатного (2) вяжущего в зависимости от содержания в них АГЗ

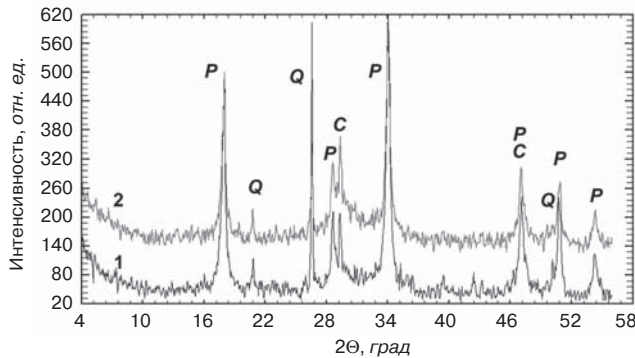


Рис. 4. Сравнительная диаграмма рентгенограмм силикатных автоклавных материалов: 1 – без АГЗ, 2 – с АГЗ. Обозначены отражения: Q – кварца, P – портландита, C – кальцита

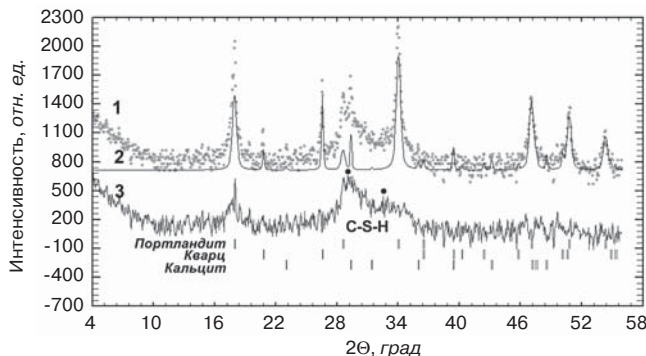


Рис. 5. DDM-диаграмма расчета образца с АГЗ: 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетный профиль; 3 – разностная (фоновая) кривая. Штрихами обозначены брегговские маркеры отражений кристаллических фаз. Точками на разностной кривой отмечены максимумы широких отражений C-S-H новообразований ($d=3,04 \text{ \AA}$ и $d=2,8 \text{ \AA}$, ICDD №33-0306)

лических компонентов не зафиксировано. Характерной особенностью рентгенограммы образца материала с гранулами является присутствие интенсивной фоновой составляющей рентгеновского рассеяния в интервале углов дифракции $2\theta=28-32^\circ$ (съемку проводили на излучении Си-анода). Основываясь на предположении, что причиной появления заметной фоновой составляющей дифракционного спектра на этих углах является рентгеновское рассеяние на наноразмерных (полукристаллических) C-S-H образованиях, был проведен полнопрофильный количественный РФА с использованием программы DDM v.1.8 (derivative difference minimization) [4]. DDM-алгоритм, реализованный в этой программе, основан на минимизации производных разностной кривой экспериментального и расчетного профиля рентгенограммы. Он позволяет не учитывать в расчетных процедурах форму линии фона, при этом разностная кривая, по сути, представляет фоновую составляющую рентгенограммы. Максимумы интенсивности на этой кривой в интервале углов дифракции $2\theta=28-32^\circ$ соответствуют полукристаллическим гидросиликатам кальция, являющимися носителями прочностных свойств данного материала (рис. 5).

Количественный полнопрофильный РФА показал снижение концентрации кварца от 16,5 мас. % в образце без АГЗ до 8,3 мас. % в образце с гранулами. На основании полученных результатов можно полагать, что введение АГЗ в силикатные автоклавные материалы повышает реакционную активность кварцевой составляющей и интенсифицирует образование C-S-H фаз. Изложение результатов детальных исследований механизма воздействия АГЗ на C-S-H фазообразования в описываемых материалах является предметом будущих публикаций.

Широкое использование АГЗ при производстве строительных изделий позволит в широком диапазоне регулировать потребительские характеристики строительных материалов. Их можно использовать в комбинации с уже используемыми легкими заполнителями.

Из анализа физических свойств силикатных материалов можно предположить, что получен новый прочный и теплоизоляционный силикатный материал автоклавного твердения, который по своим прочностным и теплоизолирующим свойствам может расширить номенклатуру силикатных стеновых материалов автоклавного твердения и занять место между силикатным кирпичом и газосиликатом.

По результатам данной работы получено 9 патентов РФ.

Ключевые слова: ячеистый силикатный материал, активный гранулированный заполнитель, теплопроводность, стеновой материал.

Список литературы

1. Юрков О.И., Кудревич О.О., Гончарик В.Н. и др. О теплотехнических характеристиках ячеистого газосиликата автоклавного твердения // Строит. материалы. 2004. № 3. С. 42–43.
2. Соловьева Л.Н., Ходыкин Е.И., Мосьпан А.В. Перспективы использования кремнеземсодержащего сырья для получения гранулированного заполнителя легких бетонов // Вестник БГТУ. 2008. № 1. С. 9–11.
3. Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Мосьпан В.И. и др. Конструкционные легкие бетоны на основе активных гранулированных заполнителей // Строит. материалы. 2009. № 10. С. 23–25.
4. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization. // Journal of Applied Crystallography. 2004. 37. Pp.743–749.

С. В. КОРНИЕНКО, канд. техн. наук (svkorn2009@yandex.ru),
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Совершенствование конструктивного решения светопрозрачных ограждений при оценке теплопотерь

В современных условиях важной хозяйственной задачей является снижение теплопотерь. В реальном проектировании влияние краевых зон ограждающих конструкций на теплопотери зданий, как правило, не учитывается. Разработан метод расчета температурно-влажностного режима в трехмерных областях наружных ограждений [1–3], который позволяет учесть это влияние и повысить энергоэффективность зданий.

Рассмотрим произвольную ограждающую конструкцию наружной оболочки здания. Пусть эта конструкция содержит l краевых зон ($l \geq 1$). Общие трансмиссионные теплопотери Q_T через рассматриваемую конструкцию за отопительный период складываются из основных теплопотерь по глади и добавочных теплопотерь через все краевые зоны данного ограждения:

$$Q_T = Q_T^{bas} + \sum_{j=1}^l Q_{Tj}^{ad}, \quad (1)$$

где Q_{Tj}^{ad} – добавочные теплопотери через j -ю краевую зону ограждения.

Основные теплопотери по глади конструкции определяют по формуле:

$$Q_T^{bas} = \frac{0,0864 M_{ht} A}{R_h^{con}}, \quad (2)$$

где 0,0864 – размерный коэффициент, МДж/(Вт·сут); M_{ht} – градусо-сутки отопительного периода, определяемые по формуле:

$$M_{ht} = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht}; \quad (3)$$

здесь t_{int} – расчетная температура внутреннего воздуха; t_{ht} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период; z_{ht} – продолжительность отопительного периода; A – площадь ограждения (по внутренним размерам); R_h^{con} – сопротивление теплопередаче по глади конструкции.

Для расчета добавочных теплопотерь через j -ю краевую зону ограждения определим площадь зоны влияния A_j и коэффициент влияния k_j краевой зоны. Эти параметры определяют по температурному полю. Под зоной влияния краевой зоны понимается область локального нарушения однородности температурного поля конструкции, вызванного этой зоной. Площадь зоны влияния A_j определяется по внутренним размерам. Коэффициент влияния k_j характеризует добавочный тепловой поток через j -ю краевую зону конструкции, отнесенный к тепловому потоку по глади в пределах площади зоны влияния краевой зоны, и определяют по формуле:

$$k_j = \frac{Q_j^{des} - Q_j^{con}}{Q_j^{con}}, \quad (4)$$

где Q_j^{des} – тепловой поток через j -ю краевую зону, определяемый по температурному полю; Q_j^{con} – тепловой поток по глади j -й краевой зоны, определяемый по формуле (2) с заменой в ней площади ограждения A на площадь зоны влияния A_j краевой зоны.

В (4) тепловые потоки Q_j^{des} и Q_j^{con} определяют при расчетных значениях температуры внутреннего и наружного воздуха. Температурное поле может быть получено решением трехмерной задачи совместного нестационарного теплообмена с использованием программы [2].

Добавочные теплопотери через j -ю краевую зону конструкции определяют по формуле:

$$Q_{Tj}^{ad} = \frac{0,0864 M_{ht} k_j A_j}{R_h^{con}}. \quad (5)$$

Для практических расчетов целесообразно использовать формулу:

$$Q_{Tj}^{ad} = \frac{0,0864 M_{ht} \psi_j A}{R_h^{con}}, \quad (6)$$

где ψ_j – коэффициент добавочных теплопотерь через j -ю краевую зону, определяемый по формуле:

$$\psi_j = \frac{k_j A_j}{A}. \quad (7)$$

После подстановки (2) и (6) в (1) получим формулу для расчета общих трансмиссионных теплопотерь через конструкцию за отопительный период:

$$Q_T = \frac{0,0864 M_{ht} A}{R_h^{con}} \left(1 + \sum_{j=1}^l \psi_j \right). \quad (8)$$

Формула (8) позволяет рассчитать общие теплопотери ограждения с учетом краевых зон и оценить вклад каждой краевой зоны в общие теплопотери.

Применительно к светопрозрачным ограждениям данная методика имеет ряд особенностей. В качестве характерного элемента светопрозрачного ограждения рассмотрим оконный блок. Выделим в оконном блоке термически однородные части – светопропускающую (стеклопакеты) и непрозрачную (коробка и створки в сборе). Основные теплопотери по глади оконного блока склады-

Таблица 1

Наименование краевой зоны	Варианты конструктивного решения элементов оконного блока	k_j	A_j
Сопряжение стеклопакета со створкой	Однокамерный стеклопакет из обычного стекла	0,7	0,024
	То же, из стекла с селективным покрытием	0,75	0,024
	Двухкамерный стеклопакет из обычного стекла	0,45	0,044
	То же, из стекла с селективным покрытием	0,5	0,044
Сопряжение коробки с наружной стеной	Оконный блок с узкой коробкой	0,3	0,08
	То же, с широкой коробкой	0,07	0,16

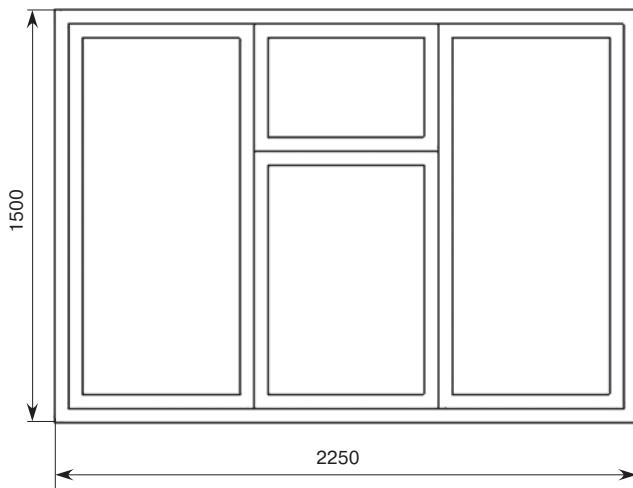


Рис. 1. Расчетная схема оконного блока

ваются из теплопотерь через светопропускающую и непрозрачную части, определяемых по формуле (2). Для определения добавочных теплопотерь в оконном блоке выделим краевые зоны сопряжения стеклопакета со створкой (с учетом дистанционной рамки стеклопакета) и сопряжение коробки с наружной стеной.

Площади зоны влияния A_j и коэффициенты влияния k_j для указанных краевых зон различных вариантов конструктивного решения элементов оконного блока определим по температурному полю на основе расчета температурно-влажностного режима по программе [2] (табл. 1).

Данные табл. 1 получены при следующих условиях: расстояние между стеклами стеклопакета 16 мм; стеклопакет заполнен воздухом; использованы металлические дистанционные рамки; коробка и створки оконного блока выполнены из деревянных профилей, толщина узкой коробки 80 мм, широкой – 160 мм; наружная стена – в виде кладки керамического пустотелого камня.

Рассмотрим: оконный блок размером $2,25 \times 1,5$ м (рис. 1) размещен в наружной стене жилого здания, намеченного к строительству в Волгограде. Светопропускающая часть оконного блока выполнена в виде двухкамерных стеклопакетов из стекла с селективным покрытием, непрозрачная часть – в виде коробки и створок в сборе из деревянных профилей. Площадь оконного блока $3,38 \text{ м}^2$, коэффициент остекления 0,75.

Рассмотрим следующие варианты конструктивного решения оконного блока: 1 – с узкой коробкой; 2 – с широкой коробкой. Расчет выполнен при следующих исходных данных: $t_{int} = 20^\circ\text{C}$; $t_{ht} = -2,4^\circ\text{C}$; $z_{ht} = 177$ сут/год. По формуле (3) $M_{ht} = 3965^\circ\text{C сут/год}$.

Сопротивление теплопередаче по глади светопропускающей части ($R_{\text{г}}^g = 0,71 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$) принято по данным

Таблица 2

Наименование показателя	Значение показателя по вариантам	
	1	2
Основные теплопотери	505	448
в том числе через:		
– светопропускающую часть	362	362
– непрозрачную часть	143	85,5
Добавочные теплопотери	76,1	55
в том числе через:		
– сопряжение стеклопакета со створкой	49,4	43,8
– сопряжение коробки с наружной стеной	26,7	11,2
Общие теплопотери	581	503

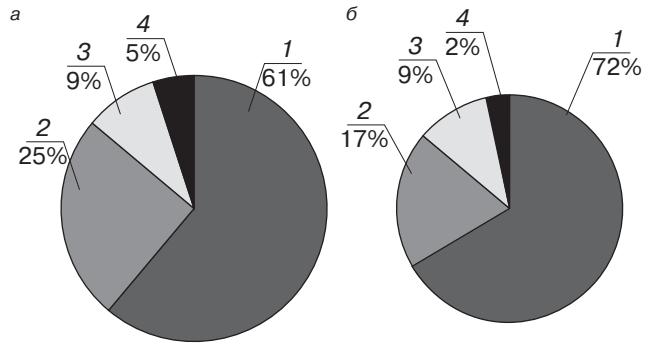


Рис. 2. Теплопотери через оконный блок за отопительный период (а – по первому варианту, б – по второму варианту): 1 – светопропускающая часть; 2 – непрозрачная часть; 3 – сопряжение стеклопакета со створкой; 4 – сопряжение коробки с наружной стеной

измерений в климатической камере [4]. Сопротивление теплопередаче непрозрачной части ($R_{\text{н}}^f = 0,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ по первому варианту и $R_{\text{н}}^f = 1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ по второму варианту) принято по справочным данным. При указанных выше значениях рассчитаны основные теплопотери через оконный блок.

Используя данные табл. 1, определим коэффициент добавочных теплопотерь для рассматриваемых вариантов конструктивного решения оконного блока: по первому варианту – $\psi_1 = 0,098$ (для сопряжения стеклопакета со створкой), $\psi_2 = 0,053$ (для сопряжения коробки с наружной стеной); по второму варианту – $\psi_1 = 0,098$, $\psi_2 = 0,025$ соответственно. На основе полученных данных рассчитаны добавочные теплопотери через оконный блок (табл. 2).

В табл. 2 удельные теплопотери определены отношением теплопотерь к площади оконного блока.

На основании данных табл. 2 определена структура теплопотерь для рассматриваемых вариантов конструктивного решения оконного блока (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что краевые зоны оказывают существенное влияние на общие теплопотери оконного блока (14% по первому варианту и 11% по второму) и, следовательно, должны учитываться при проектировании. Совершенствование конструктивного решения оконного блока путем замены узкой коробки на широкую позволяет снизить как основные, так и добавочные теплопотери. При этом общие трансмиссионные теплопотери через оконный блок за отопительный период снижаются на 13%. Кроме того, применение оконного блока с широкой коробкой позволяет улучшить температурно-влажностный режим наружной стены в зоне сопряжения с оконным блоком [3].

Ключевые слова: теплопотери, светопрозрачные конструкции, краевая зона, компьютерная программа, энергоэффективность зданий.

Список литературы

1. Корниенко С.В. Метод решения трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Известия вузов. Строительство. 2006. № 2. С. 108–111.
2. Корниенко С.В. Решение трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Строит. материалы. 2007. № 10. С. 54–55.
3. Корниенко С.В. Расчет тепловлажностного режима оконных откосов // Жилищное строительство. 2008. № 6. С. 36–38.
4. Могутов В.А. Новые принципы теплотехнических расчетов светопрозрачных конструкций // Светопрозрачные конструкции. 2009. № 1–2. С. 40–43.



К 70-летию А.М. Гридчина

Редакция и редакционный совет поздравляют доктора технических наук, профессора Анатолия Митрофановича Гридчина с юбилеем.

Анатолий Митрофанович Гридчин родился 21 июня 1940 г. в с. Золотухино Курской области. В 1964 г. закончил Харьковский автомобильно-дорожный институт по специальности «автомобильные дороги». Работал главным инженером дорожного участка, прорабом, главным инженером и начальником ДСУ. В 1978 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Исследование вскрышных горных пород Курской магнитной аномалии для дорожного строительства», в 2003 г. — докторскую диссертацию по теме

«Повышение эффективности дорожных бетонов путем использования заполнителя из анизотропного сырья».

В 1993—2000 гг. Анатолий Митрофанович работал заместителем главы администрации области, начальником департамента безопасности и укрепления правопорядка администрации области. А.М. Гридчин является крупным специалистом в области транспортных систем и дорожного строительства. Он принимал активное участие в разработке и реализации программы дорожного строительства и благоустройства населенных пунктов Белгородской области. Внедрение результатов его научных исследований позволило развернуть широкомасштабное строительство автомобильных дорог в Белгородской области с использованием попутно добываемых пород и отходов обогащения железистых кварцитов КМА. С 2000—2010 гг. А.М. Гридчин занимал пост ректора БГТУ им. В.Г. Шухова.

Анатолий Митрофанович является автором около 200 научных работ, в том числе 20 монографий и учебных пособий, 21 авторского свидетельства и патентов на изобретения. Под его руководством защищены 10 докторских и кандидатских диссертаций. Благодаря дальновидной и планомерной деятельности Анатолия Митрофановича Гридчина БГТУ им. В.Г. Шухова на протяжении ряда лет занимает лидирующие позиции среди вузов России и уверенно выходит в мировое образовательное и научное пространство.

За многолетнюю плодотворную деятельность А.М. Гридчин награжден орденами Трудового Красного Знамени (1974 г.), Дружбы народов (1990 г.), «За заслуги перед Отечеством» 2-й степени (2000 г.). Он является лауреатом Всероссийского конкурса «Инженер года-2002».

Редакция и редакционный совет желают Анатолию Митрофановичу крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

Группа ЛСР купила карьер

ОАО «Гранит-Кузнечное», предприятие группы ЛСР, подписало контракт на покупку ООО «Карьер Петровский» — производителя щебня, обладающего лицензиями на освоение гранитного месторождения Петровское в Выборгском районе Ленинградской области. Сделка обошлась в 59 млн р. Финансирование выполнялось за счет средств, которые были привлечены после размещения акций ОАО «Группа ЛСР» в рамках международного предложения. ООО «Карьер Петровский» кроме лицензий на освоение месторождений гранитоидной массой в 25 млн м³ имеет еще два дробиль-

но-сортировочных завода по производству щебня импортного производства. После этой покупки производственная база ОАО «Гранит-Кузнечное» будет иметь восемь заводов и пять месторождений в Выборгском и Приозерском районах Ленобласти. Производительность действующих производств ООО «Карьер Петровский» насчитывает около 500 тыс. м³ в год. Покупка ООО «Карьер Петровский» выполняется в рамках стратегии компании по укреплению рыночных позиций на рынке щебня Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

По материалам пресс-службы ОАО «Группа ЛСР»

Цены в строительстве растут

Цены на строительные материалы в России в I квартале 2010 г. выросли на 60%, свидетельствуют результаты опроса стройорганизаций в РФ, проведенного Федеральной службой государственной статистики (Росстатом).

Согласно исследованию стоимость строительно-монтажных работ в России увеличилась в первые три месяца года на 40% и может увеличиться еще на 43% в текущем квартале.

В докладе отмечается, что на увеличение прибыли в январе—марте указали 11% руководителей стройорганизаций, 12% — на ее уменьшение.

Во II квартале 2010 г. руководители 16% строительных организаций прогнозируют увеличение прибыли и 6% — ее уменьшение; 51% респондентов не ожидают ее изменения.

Сообщается, что 4% руководителей в I квартале оценили экономическую ситуацию в строительстве как

благоприятную, 29% — как неудовлетворительную. Во II квартале, по мнению 76% респондентов, она не должна измениться, по мнению 17% — улучшится, 7% — ухудшится.

Индекс предпринимательской уверенности в I квартале 2010 г. по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года увеличился на два процентных пункта и составил 16%.

Основными факторами, на которые руководители стройфирм указывали как на сдерживающие их деятельность, оказались неплатежеспособность заказчиков, высокий уровень налогов (на них сослались по 37% опрошенных) и конкуренция со стороны других строительных фирм (33%).

В опросе Росстата приняли участие 6,7 тыс. строительных организаций, различных по численности занятых сотрудников и формам собственности, в том числе 4,1 тыс. субъектов малого предпринимательства.

По материалам Ассоциации строителей России

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**ROCKWOOL купил
Южно-Уральский завод
минераловатных плит**

В июне 2010 г. было подписано соглашение между компаниями ROCKWOOL и LINEROCK о приобретении компанией ROCKWOOL завода по производству теплоизоляции из каменной ваты ЗАО «Троицкий завод минераловатных плит».

Компания ROCKWOOL с учетом двух существующих заводов в России и строящегося нового завода ROCKWOOL в особой экономической зоне Алабуга удваивает количество заводов в России с двух до четырех. Компания позитивно оценивает долгосрочный по-

тенциал российской экономики, которая по прогнозам экспертов к 2030 г. станет самой сильной экономикой Европы. Сумма датских инвестиций в южно-уральское предприятие составит 50 млн USD.

Завод расположен в г. Троицке Челябинской области. Производительность завода составляет 30 тыс. т в год. В конце июня 2010 г. предприятие будет остановлено на две недели для технического переоснащения производства, установки дополнительного оборудования и внедрения технологии ROCKWOOL. Начало производства продукции намечено на середину июля. Планируется, что на новом заводе будет трудоустроено 270 человек.

По материалам пресс-службы компании ROCKWOOL

Lafarge и STRABAG создают компанию

Производитель стройматериалов Lafarge SA (Франция) и строительная компания Strabag SE (Германия) объединяются для создания совместной компании, производящей цемент — Lafarge Cement CE Holding GmbH (Австрия). 70% акций новой компании будут принадлежать Lafarge. В новую компанию войдут предприятия Lafarge в Чехии, Австрии, Словении и Словакии, а также завод Strabag в Венгрии. В рамках

сделки Lafarge получит денежные средства, что позволит ей сократить задолженность на 77,5 млн евро. Планируется, что предприятие ежегодно будет производить до 4,8 млн т цемента. Сделка позволит компании Strabag получать ежегодно необходимое количество цемента — 1,5 млн т. Продукция будет реализовываться под брендом Lafarge.

Компания начнет работу в январе 2011 г.

По материалам компании Lafarge

Иран инвестирует в белорусский цемент

Иранская компания Azarab Ind. Со намерена инвестировать 200 млн USD в промышленную разработку месторождений мела в Гомельской области (Белоруссия) и строительство на их базе цементного завода.

Подписанный с Azarab инвестиционный договор предусматривает освоение двух месторождений мела — Подкамень и Широкое.

Мощность предприятия по производству цемента составит 1 млн т в год. В дальнейшем на заводе будет освоен выпуск стройматериалов — сухих строительных смесей, ячеистого бетона, стеновых блоков, извести. Планируется, что часть продукции будет продаваться на внутреннем рынке, а часть — экспортироваться, в том

числе в страны Евросоюза. По условиям договора инвестор имеет право реализовывать по собственным торговым каналам до 70% производимой продукции.

Строительство завода планируется завершить не позднее 36 месяцев с момента регистрации технико-экономической документации. Не исключено, что срок строительства будет сокращен до двух лет.

В марте 2008 г. иранская компания была признана победителем открытого конкурса Министерства природных ресурсов и окружающей среды Белоруссии на право разработки месторождений мела. Компания также приняла на себя обязательство построить цементный завод с сопутствующей инфраструктурой.

По материалам агентства «Интерфакс-Запад»

ИССЛЕДОВАНИЯ РЫНКОВ

В 2010 г. объем производства кирпича в РФ снизится

Согласно данным исследования «Производство и рынок керамического и силикатного кирпича России» емкость рынка РФ в 2010 г. составит 7670 млн шт. усл. кирпича, что в денежном выражении соответствует 80,8 млрд р. К 2012 г. аналитики прогнозируют рост до уровня 2005–2006 гг. Производителями будет выпущено 9460 млн шт. усл. кирпича на общую сумму 113 млрд р.

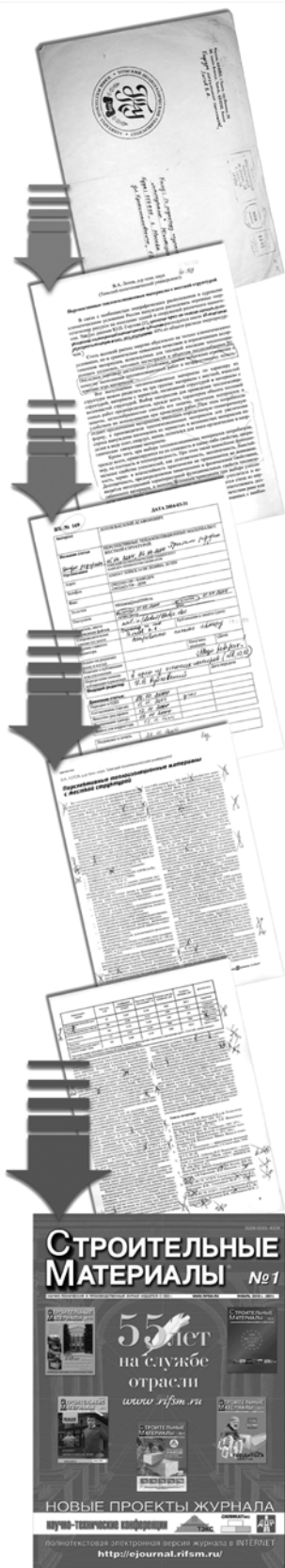
По мнению специалистов, объемы потребления кирпича в сегменте нежилого строительства сократятся более существенно, чем объем строительных работ, в связи с усилением конкуренции со стороны производителей металлоконструкций, которые, столкнувшись со снижением спроса, начали агрессивную экспансию в сегмент строительства сельскохозяйственных и прочих объектов. Осложняют ситуацию и производители более технологичных вентилируемых фасадов и сэндвич-панелей, уже снизившие цены до уровня 2007 г.

Положение производителей кирпича осложняется тем, что в ключевых регионах России прогнозные показатели по вводу жилья на 2010 г. отстают от показателей 2009 г. на 15–20%, причем основную долю вводимых жилых объектов составят объекты, заложенные в 2008 г. Так, в Московской области, по прогнозам губернатора, будет построено около 6 млн м² жилья, что на 25% меньше, чем в 2009 г. В Челябинской области снижение составит около 34%, а в Санкт-Петербурге, по данным городской администрации, около 11,5%.

Объем строительства жилья в 2011–2012 гг. будет выше, чем в 2010 г., однако сокращение объемов закладки в 2009 г. негативно скажется на объемах ввода в 2011–2012 гг. Таким образом, доля кирпича в структуре строительства массового жилья, коммерческих и промышленных объектов будет сокращаться, и единственным перспективным сегментом останется строительство индивидуального жилья и коттеджных поселков.

По материалам «РБК.Исследования рынков»

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья — это сочинение небольшого размера (до 4-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

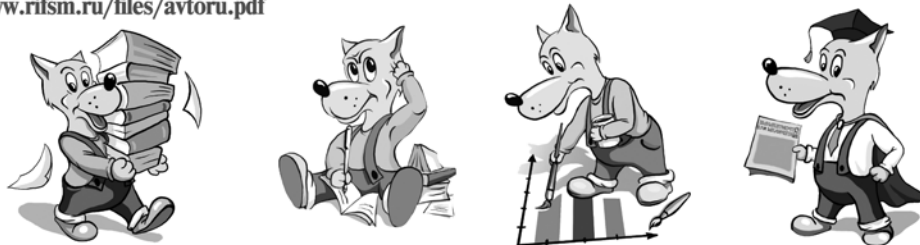
Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи и не содержать перечень всего ранее опубликованного автором, что перегружает объем статьи и часто является элементом саморекламы.

Кроме того, статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий. Статьи, направляемые в редакцию журнала «Строительные материалы»®, должны соответствовать следующим **требованиям**:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т.п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 — максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); распечаткой, лично подписанной авторами; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языке; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась, и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 году в журнале «Строительные материалы» был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf



Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства www.rifsm.ru/page/7