

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №11



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

НОЯБРЬ 2013 г. (707)

МЕСТОРОЖДЕНИЕ КАОЛИНОВ ЖУРАВЛИНЫЙ ЛОГ



Каолиносодержащие материалы:

КАОЛИН ОБОГАЩЕННЫЙ
ПРЕМИКС-каолино-кварцевая смесь
Песок кварцевый
 фракционированный
Кварцевая мука
Метакаолин МКЖЛ
Шамот
Каолин-сырец

Россия, Челябинская область, г. Пласт, телефон: (35160) 2-26-56



ЗАВОД
ТЕХПРИБОР

г. Щекино Тульской обл.
ПРЕДЛАГАЕТ

Автоматизированные мельничные комплексы

«Трибокинетика-6000»

- 2 950 000 р. с НДС
в полной комплектации
- 2 года гарантии
- Низкая себестоимость помола

РАБОТАЮТ ПО ВСЕЙ РОССИИ!



www.tpribor.ru

Завод «Техприбор» РФ, Тульская область, г. Щекино, ул. Пирогова, д. 43
Контактные телефоны: (48751) 4-87-27, 4-08-69, (48751) 4-57-78, 4-76-99

E-mail: manager@tpribor.ru

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.
ВЕРЕЩАГИН В.И.
ГОНЧАРОВ Ю.А.
ГОРИН В.М.
ЖУРАВЛЕВ А.А.
КОЗИНА В.Л.
КРАСОВИЦКИЙ Ю.В.
КРИВЕНКО П.В.
ЛЕСОВИК В.С.
ОРЕШКИН Д.В.
ПИЧУГИН А.П.
ФЕДОСОВ С.В.
ФИЛИППОВ Е.В.
ХЕЛМИ Ш.
ХИХЛУХА Л.В.
ЧЕРНЫШОВ Е.М.
ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.
ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.

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, стр. 3

Тел./факс: (499) 976-22-08
(499) 976-20-36

E-mail: mail@rifsm.ru
http://www.rifsm.ru

Нормативная база отрасли

Г.И. ГРИНФЕЛЬД

Нормативное обеспечение применения автоклавных ячеистых бетонов в строительстве 4

Описаны предпосылки разработки и основные положения СТО НААГ 3.1–2013 «Автоклавный газобетон в строительстве зданий и сооружений на территории Российской Федерации» и первой редакции СТО НОСТРОЙ 2.121–2013 «Строительные конструкции зданий и сооружений. Устройство конструкций с применением изделий и армированных элементов из ячеистых бетонов автоклавного твердения. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ, рекомендации по применению»

Керамзит и керамзитобетон: наука и практика

Ю.С. ВЫТЧИКОВ, В.М. ГОРИН, М.В. ГОРИН, И.Г. БЕЛЯКОВ

Исследование теплозащитных характеристик стеновых керамзитобетонных камней производства ООО ПСК «Атлант» 7

Представлены результаты теоретического и экспериментального исследования теплозащитных характеристик стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона. Расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче кладки из стеновых камней на цементно-песчаном растворе и растворе с пониженной теплопроводностью были получены с помощью метода, разработанного авторами статьи. Расчет трехмерных температурных полей во фрагменте наружной стены выполнялся с помощью метода конечных элементов, реализованного в программном комплексе ANSYS. Экспериментальные данные по значению приведенного сопротивления теплопередаче кладки из керамзитобетонных камней производства ООО ПСК «Атлант» подтвердили результаты расчета.

Научно-техническое совещание «Проектирование и строительство доступного и комфортного жилья с применением экологически чистого и энергоэффективного керамзитобетона» (Информация) 10

М.Е. САПАРЕВ, Ю.С. ВЫТЧИКОВ

Повышение теплозащитных характеристик керамзитобетонных ограждающих конструкций с помощью экранной тепловой изоляции 12

Обоснована необходимость повышения теплозащитных свойств наружной стены из керамзитобетонных камней с помощью экранной тепловой изоляции, которая должна представлять собой пакет (совокупность) материалов с малой поглощательной и большой отражательной способностями экранов и с воздушными неветилируемыми прослойками между ними. Приведен теплотехнический расчет подобной конструкции, а также номограмма для подбора толщины замкнутой воздушной прослойки.

Гипсовые строительные материалы

А.В. ГРИНЕВИЧ, А.А. КИСЕЛЕВ, Е.М. КУЗНЕЦОВ, А.Ф. БУРЬЯНОВ

Получение синтетического ангидрита сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и молотого известняка 16

Проведен комплекс исследований на модельной лабораторной установке непрерывного действия и разработана технология утилизации отходной концентрированной серной кислоты пирометаллургических производств посредством ее обработки природным молотым известняком с получением синтетического ангидрита сульфата кальция. Определены оптимальные условия кристаллизации ангидрита сульфата – температура 80–100°C, содержание твердых веществ в пульпе 25–40% и H_2SO_4 в жидкой фазе пульпы 25–50%, время пребывания 1–1,5 ч. Разделение пульпы с промывкой осадка ангидрита водой осуществляется на наливных вакуум-фильтрах, промывной раствор H_2SO_4 рециркулируется на стадию разложения известняка для поддержания заданного содержания твердых частиц в пульпе. Полученный ангидрит после промывки, сушки, ввода модифицирующих добавок и измельчения является качественным ангидритовым вяжущим, которое может быть использовано для замены традиционного ангидрита из природного сырья и приготовления закладочных смесей при закладке отработанных пространств шахт.

Х.А. ХЕЖЕВ, Ю.В. ПУХАРЕНКО, Т.А. ХЕЖЕВ

Фиброгипсобетонные композиты с применением вулканических горных пород. 20

Предложена сырьевая смесь для изготовления фиброгипсотуфобетонного композита на основе отходов камнепиления вулканического туфа. Установлены новообразования в гипсоизвестковотуфобетонном композите. Разработаны составы огнезащитных фиброгипсовермикулитотуфобетонных композитов.

Высокопрочные гипсовые вяжущие – лучшая основа для производства современных сухих строительных смесей (Информация) 25**Строительные материалы: technology**

М.И. КУЗЬМЕНКОВ, С.И. МАСЮК, А.М. ГРЕЧНЫЙ, А.М. КОЗЕЛ

Промышленная технология гидратированных силикатных порошков из жидких стекол 26

Разработана технология производства гидратированных силикатных порошков щелочных металлов. Продукт представляет собой белый порошок, характеризующийся следующими показателями: содержание (мас. %): SiO_2 – 58,7; $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})$ – 21,2; H_2O – 5,6; силикатный модуль 2,86; размер частиц 0,1–1 мкм; насыпная плотность 0,7; время растворения при 20°C в течение 6 мин. Промышленное производство налажено с участием словацкой фирмы «Lukro» на ОАО «Домановский ПТК» (Брестская обл.). Годовая мощность цеха 1,65 тыс. т.

Л.А. ВАЙСБЕРГ, Е.Е. КАМЕНЕВА, В.Н. АМИНОВ

Оценка технологических возможностей управления качеством щебня при дезинтеграции строительных горных пород 30

Приведены результаты исследований физико-механических свойств основных типов строительных горных пород. Показана стабильность качества щебня из габбро-диабазов. Обосновано, что схема дробления этих пород должна быть ориентирована только на повышение кубовидности. Прочностные характеристики и форма зерен гранитного щебня менее выдержаны, что связано с текстурно-структурными особенностями исходных пород, применяемым оборудованием и технологией дробления. Присутствие в некоторых разновидностях гранита разнопрочных минералов приводит к селективной дезинтеграции и создает возможность обогащения щебня по прочности.

С.В. ФЕДОСОВ, Б.А. КРЫЛОВ, В.И. БОБЫЛЕВ, А.Г. ПЫЖИКОВ, Н.В. КРАСНОСЕЛЬСКИХ, А.М. СОКОЛОВ

Применение электротепловой обработки железобетонных изделий на полигонных установках 35

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований предела прочности бетона при сжатии, температурных и электрических характеристик, а также энергетических показателей электротермической обработки бетона токами повышенной частоты в лабораторных и производственных условиях. Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности такого способа тепловой обработки по сравнению с ТВО водяным паром: например, обеспечивается высокая однородность температурного поля в объеме изделий, в 5,5–6 раз снижается стоимость затраченной энергии. Доказана актуальность скорейшего внедрения такой электротермической обработки при изготовлении железобетонных изделий на полигонных установках, где ТВО имеет наихудшие энергетические и стоимостные показатели.

Производители бетона обсудили современные производственные проблемы (Информация) 39

В.Н. СОКОВ, А.Э. БЕГЛЯРОВ

Эффективные трехслойные монолитные изделия с наноструктурированным переходным слоем. 41

Разработана энергоэффективная и скоростная технология производства трехслойных монолитных изделий с развитой удельной поверхностью и наноструктурированной переходной зоной между слоями, создаваемой гидротеплосиловым полем.

О.Г. ВОЛОКИТИН, Н.К. СКРИПНИКОВА, Г.Г. ВОЛОКИТИН, В.В. ШЕХОВЦОВ, В.И. ВЕРЕЩАГИН, А.И. ХАЙСУНДИНОВ

Минеральное волокно, полученное в агрегатах низкотемпературной плазмы из продуктов сжигания каменного угля и горючих сланцев 44

Представлена технология утилизации продуктов сжигания каменного угля и горючих сланцев при производстве минеральных волокон с использованием электроплазменной установки для плавления силикатсодержащих материалов. Проведены исследования электроплазменной установки, сырьевых материалов и полученных на их основе минеральных волокон.

А.А. СЕНИН, А.М. АЙЗЕНШТАДТ, А.А. ШИНКАРУК, Т.А. МАХОВА

Формирование огнезащитных свойств строительных материалов из древесины с использованием высокодисперсного базальтового наполнителя 47

Рассмотрен способ модификации поверхности древесины микродисперсным наполнителем состава базальт–сапонит–оксид кальция. Приведено описание лабораторной установки и технологических параметров процесса обработки. С помощью электронной микроскопии показано, что минеральный наполнитель адсорбируется внутри пор древесины на глубину 300–400 мкм и покрывает поверхность тонким однородным слоем. Такая обработка позволяет улучшить огнезащитные свойства древесины и уменьшить гигроскопичность.

Современные бетоны: наука и практика

И.М. БАРАНОВ, Р.К. ЮСУПОВ, А.С. ТАРАСОВ, Н.И. СОЛДАТОВА

Реальности и перспективы повышения прочности особопрочных бетонов 50

Представлены результаты исследований по разработке составов высокопрочных мелкозернистого тяжелого бетона и тяжелого бетона с крупным наполнителем. Описаны их строительно-технические свойства.

А.А. КИРСАНОВА, Л.Я. КРАМАР

Органоминеральные модификаторы на основе метакрилата для цементных бетонов 54

Рассмотрены перспективные способы повышения энерго- и материалосбережения в строительстве при использовании добавок-модификаторов структуры и свойств цементного камня и бетона на основе метакрилата марок У-ЖЛ, УМ-ЖЛ, УМД-ЖЛ. Доказано, что применение таких органоминеральных добавок позволяет получать быстротвердеющие в нормальных условиях бетоны с высокими показателями долговечности. Бетоны с применением таких добавок можно применять в строительстве дорог, гидротехнических и других ответственных строительных сооружений.

Результаты научных исследований

И.Я. ГНИП, С.И. ВАЙТКУС

Аналитическое описание деформаций ползучести минераловатных (MW) плит при длительном сжатии 57

Представлены результаты исследования при постоянной нагрузке ползучести минераловатных (MW) плит, применяемых для теплоизоляции совмещенных покрытий, фасадов стен, монолитных полов и наружных стен подвалов, а также для звукоизоляции междуэтажных перекрытий зданий. Исследования ползучести проведены при сжимающем напряжении, составляющем 35% прочности плит на сжатие при 10% деформации. Для упреждения на 10 лет выполнено интервальное прогнозирование деформаций ползучести методом экстраполяции процесса ползучести, аппроксимированного экспоненциальным уравнением и логарифмированием, приведенным к линейному виду. Для прямого эксперимента, выполненного в соответствии с методическими рекомендациями ГОСТ Р ЕН 1606 относительно момента времени замера деформаций и аппроксимации процесса ползучести на базе экспоненциальной модели, представлено регрессионное уравнение для определения 90% верхних и нижних доверительных границ деформаций ползучести для упреждения на $T=0,5-10$ лет, используя среднеквадратическое отклонение логарифмических фактических наблюдений деформаций ползучести от линейного тренда на ретроспективном участке.

В.А. УШКОВ, Д.И. НЕВЗОРОВ, Л.С. ГРИГОРЬЕВА, В.М. ЛАЛАЯН

Влияние минеральных наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных строительных материалов 63

Рассмотрено влияние содержания и химической природы минеральных наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных строительных материалов (ПСМ). Совокупность полученных экспериментальных данных показывает, что основным параметром, определяющим влияние минеральных наполнителей на воспламеняемость ПСМ, является удельное количество тепла, поглощаемое наполнителем. Выявлена зависимость кислородного индекса (КИ) ПСМ от удельной теплоемкости минеральных наполнителей.

Е.В. ВОЙТОВИЧ, Н.И. КОЖУХОВА, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, А.В. ЧЕРЕВАТОВА, Д.Д. НЕЦВЕТ

Концепция контроля качества алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения 68

Предложена концепция контроля качества, которая может выступать в качестве базовой платформы при разработке необходимой нормативно-технической документации рассматриваемых вяжущих полимеризационного и полимеризационно-поликонденсационного типов твердения.

В.С. ЛЕСОВИК, М.А. ФРОЛОВА, А.М. АЙЗЕНШТАДТ

Поверхностная активность горных пород 71

Целью исследований является расчет величины поверхностной активности ультрадисперсных систем, полученных диспергированием модельных образцов горных пород. Полученные данные показывают, что в качестве основного критерия количественной энергетической классификации сырья на основе горных пород для получения строительных композитов можно использовать величину поверхностной активности (k_s). В работе представлена модель экспериментального определения параметров, необходимых для проведения расчета k_s .

Новости 74

Уважаемые коллеги! Подписку на журнал «Строительные материалы»® можно оформить по каталогам

6
или
12
номеров журнала



Подписной индекс по объединенному каталогу «Пресса России»

70886



Подписной индекс по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ»

79809



Подписной индекс по каталогу «Издания органов научно-технической информации»

61970

Г.И. ГРИНФЕЛЬД, исполнительный директор Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона (Санкт-Петербург)

Нормативное обеспечение применения автоклавных ячеистых бетонов в строительстве

Место автоклавного газобетона в структуре стеновых материалов

Производство автоклавных ячеистых бетонов в России за последнее десятилетие стремительно выросло [1]. Результаты анализа рынка строительных материалов, представленные на заседании Президиума Коллегии Министерства регионального развития Российской Федерации 26.07.13 г., показывают, что автоклавный ячеистый бетон занимает второе место в структуре мелкоштучных изделий, уступая лишь рядовому керамическому кирпичу. Рост производства автоклавного ячеистого бетона стал возможен благодаря строительству в России десятков новых заводов, оборудованных современными технологическими линиями [1]. Ассортимент выпускаемых изделий и их относительные доли в структуре производства демонстрируют значительные отличия от аналогичных данных двадцатипятилетней давности [2]. Выпуск армированных изделий составляет в настоящее время менее 1% от объема производства автоклавного ячеистого бетона (АЯБ) [1], значительно снижена средняя плотность, повышена прочность, улучшены геометрические характеристики выпускаемых изделий.

Существующие нормы проектирования и строительства

Изменение структуры производства АЯБ, сопряженное с появлением новых видов продукции, долго не находило отражения в документах, регламентирующих их применение в строительстве.

Во второй половине 1980-х гг., когда производство ячеистых бетонов получило широкую государственную поддержку [3], уже возникла схожая проблема. Объем производства мелких блоков из ячеистых бетонов быстро увеличивался, а практика проектирования и применения складывалась стихийно, не всегда выливаясь в оптимальные формы. В 1986 г. основные положения СНиП II-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции» и СНиП II-3-78* «Строительная теплотехника» применительно к мелким блокам из ячеистых бетонов были развиты в «Рекомендациях по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов» (далее — «Рекомендации»), разработанных совместно НИИЖБ и ЦНИИСК при участии специалистов НИИСФ, ВНИИСтром, НИПИсиликатобетон и ЛенЗНИИЭП. В предисловии ко второму изданию «Рекомендаций», вышедшему в 1992 г., говорится: «В настоящее время объем производства стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов составляет 3,5 млн м³/г., а в дальнейшем этот объем намечено увеличить до 27 млн м³/г., а единого документа, регламентирующего правила проектирования и применения таких блоков, нет». В редакции документа «Рекомендации» конца 1980-х гг. зафиксированы оптимальные конструктивные решения, основанные на применении блоков, выпускающихся по ГОСТ 21520-89 «Блоки из яче-

истых бетонов стеновые мелкие. Технические условия» и ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия», позволяющие решить актуальные в тот период задачи теплотехнического проектирования [4]. Поэтому рекомендуемые в документе «Рекомендации» толщины кладок для плотности бетона 500 кг/м³ не превышают 300 мм, а растворные швы с расчетной толщиной 12 мм не представляют серьезной проблемы с точки зрения теплотехники.

К началу 2000-х гг. промышленность строительных материалов и структура строительного комплекса претерпели существенные изменения. Новые нормативные требования к теплозащитным свойствам оболочки здания привели к широкому распространению слоистых ограждающих конструкций. Практически исчез класс конструкционно-теплоизоляционных материалов. Конструкционно-теплоизоляционными реликтами остались ячеистые бетоны и крупноформатные керамические изделия с поризованным черепком — виды стеновых материалов, показывающие устойчивый рост объемов выпуска в период 2000–2012 гг., значительно опережая рост объемов строительства [1, 5].

Изменение нормативных требований к ограждающим конструкциям, повлекшее изменение конструктивных решений стен, привело к тому, что «Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов», оставаясь достаточно молодым документом, в значительной мере утратили актуальность. Дополнительным фактором, обусловившим снижение актуальности «Рекомендаций», стало обновление производственной базы, приведшее к снижению доли изделий, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 21520-89 к дискретности размерного ряда. Высота блоков 250 мм, пришедшая вместе с немецкими технологическими линиями, адаптирована для кладки с тонким раствором швом и перевязки с кирпичной кладкой с высотой ряда 71+13=84 мм (кладка кирпича формата NF по DIN 105-4 «Клинкер строительный глиняный»). Блоки с размерами, отличными от рекомендованных ГОСТ 21520-89, требовали для оптимизации своего применения новых типовых решений.

Итак, документы, разработанные в конце 1980-х — начале 1990-х гг., утратили свою актуальность. Работа по обобщению и актуализации нормативов по ячеистым бетонам, активизированная в 1986 г., не была закончена. В результате возникла потребность в обобщении и упорядочении положений ранее разработанных документов, а также в адаптации этих положений к существующей элементной базе — реально выпускаемой промышленностью продукции.

Первая часть этой работы выполнена Центром ячеистых бетонов под научным руководством В.А. Пинскера. Были проведены обобщение и устранение внутренних противоречий между положениями отдельных документов. Методики расчета, основанные на эмпирических зависимостях, заменены теоретически обоснованны-

ми формулами, проверенными экспериментально [6]. В результате проведенной работы по обобщению нормативов и обоснованию их положений в свет были выпущены две части стандарта СТО 501-52-01-2007 «Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации», явившегося по существу итоговым структурированием и оформлением всего советского этапа развития промышленности ячеистых бетонов.

Вторая часть работы по адаптации богатого нормативного наследия к изменившейся номенклатуре изделий и обновляемым требованиям к ограждающим конструкциям была проведена при координирующем участии Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона. Работа вылилась в разработку ГОСТ 31359-2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия» и ГОСТ 31360-2007 «Изделия стеновые неармированные из ячеистых бетонов автоклавного твердения. Технические условия» [7]; затем в разработку СТО НААГ 3.1-2013 «Конструкции с применением автоклавного газобетона в строительстве зданий и сооружений. Правила проектирования и строительства» и, наконец, в разработку первой редакции СТО НОСТРОЙ 121-2013 «Строительные конструкции зданий и сооружений. Устройство конструкций с применением изделий и армированных элементов из ячеистых бетонов автоклавного твердения. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ, рекомендации по применению. Первая редакция» (электронный ресурс: http://www.nostroy.ru/121_STO_Yacheistye_betonu.pdf).

Более подробно остановимся на двух стандартах: СТО НААГ 3.1-2013, утвержденном в мае 2013 г., и СТО НОСТРОЙ 121-2013, существующем пока в стадии первой редакции.

СТО НААГ 3.1-2013

Стандарт организации (СТО НААГ 3.1-2013) разработан с целью актуализации основных расчетных характеристик, конструктивных требований и рекомендаций, касающихся применения изделий из автоклавного ячеистого бетона в строительстве. Упор в стандарте сделан на использование неармированных изделий по ГОСТ 31360-2007 при наличии основных сведений по использованию армированных брусковых перемычек и панелей.

В СТО НААГ 3.1-2013 за основу рекомендаций взята современная номенклатура изделий из автоклавного ячеистого бетона. Предложенные конструктивные решения ограждающих конструкций являются оптимизированным обобщением опыта строительства, накопленного в России и за рубежом в последние годы.

Стандарт основан на требованиях действующих нормативных документов, в первую очередь СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*» и СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

Основные положения и элементы документа, отличающие его от документов по применению ячеистых бетонов, созданных в предыдущие нормотворческие периоды, представлены ниже.

Номенклатура изделий и физико-технические характеристики бетонов внесены в СТО на основании данных ГОСТ 31359-2007 и ГОСТ 31360-2007. Эти стандарты в части расчетных характеристик гармонизированы с EN 771-4: 2003 «Элементы для каменной кладки. Блоки из автоклавного ячеистого бетона» и EN 12524: 2006 «Каменная кладка. Методы определения температурно-влажностных характеристик».

Раздел теплотехнического проектирования создан с учетом возможности расчетного определения влажностного состояния кладки в зависимости от состава конструкции, режима эксплуатации и региона применения. Показаны основные положения СП 50.13330.2012 в части, касающейся получения исходных данных для включения кладки в расчет теплозащитной оболочки здания.

Расчет несущей способности основан на требованиях СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции». Различные понижающие коэффициенты, учитывающие особенности работы ячеистого бетона и конструкций из него, внесены непосредственно в соответствующие формулы. Методика расчета кладки по предельным состояниям первого рода (по несущей способности) изложена в редакции СТО 501-52-01-2007, учитывающей результаты экспериментальной работы, описанной в [8]. Расчетные сопротивления сжатию кладки с тонким швом («на клею») приняты, как и для кладки со швом стандартной толщины, на растворе максимальной прочности, без явного введения повышающих коэффициентов, но с оставлением такой возможности по результатам дополнительных экспериментов. Вопрос влияния толщины шва на прочность кладки из штучных изделий и результаты экспериментальной работы, подтверждающей высокие прочностные характеристики кладки с тонким швом, изложены в [9]. Явное разделение кладочных растворов и образующих ими растворных швов на тонкослойные и стандартные (классификация принята в соответствии с EN 1996-1-1: 2005 Еврокод 6 «Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1») введено в отечественный нормативный документ впервые. При этом такое разделение не противоречит требованиям СП 15.13330.2012, что показано в [9].

В разделе конструктивных решений более подробно, чем в предшествующих документах, рассмотрены вопросы армирования кладки (в зависимости от принимаемой допустимой по условиям эксплуатации ширины раскрытия трещин). Следует помнить, что описанные в СП 15.13330.2012 максимальные расстояния между температурно-усадочными швами, принимаемые без расчета, назначены из условия, что сквозные трещины в кладке с шириной раскрытия до 1,25-2 мм признаются допустимыми по условиям эксплуатации наружных стен жилых зданий. Однако поскольку такие трещины очевидно не являются допустимыми в современных условиях, в СТО НААГ 3.1-2013 даются рекомендации по конструктивному и расчетному армированию кладки. Разбор истории развития подходов к армированию ячеисто-бетонной кладки сделан в [10].

Значительное внимание в СТО как в документе, ориентированном во многом на проектировщиков, работающих в небольших коллективах и обладающих лишь локальным опытом, уделено оптимальному решению опирания перекрытий на кладку: даны мотивирующие основания для введения распределительных подушек, железобетонных обвязочных поясов, подстилающих слоев раствора или выравнивающих местных неровности материалов.

Разобран вопрос с закреплением на газобетонное основание навесных элементов; с закреплением газобетонной кладки к несущему каркасу многоэтажных зданий для сопротивления ветровым воздействиям.

В разделе, посвященном отделочным покрытиям, приведены конструктивные и целевые требования к штукатурным и окрасочным составам, предназначенным для нанесения на газобетонное основание, к состоянию кладки перед началом отделочных работ. Раздел основан на анализе существующих требований к отделке ячеистого бетона и физических основ со-

вместной работы АЯБ и отделочных слоев, проведенном в [11].

В качестве приложений в рассматриваемый СТО включены альбомы технических решений, содержащие примеры применения АЯБ в малоэтажном строительстве и в кладке поэтажно опертых стен. Альбомы разработаны в РУП «Институт БелНИИС» по заказу НААГ. Важной характеристикой этих альбомов является обобщенность решений и отсутствие конкретных указаний на марки и размеры применяемых изделий. Цель такой обобщенности — сделать альбомы иллюстрациями принципов проектирования, а не еще одной серией, рассчитанной на применение ограниченной номенклатуры изделий в определенных климатических условиях. При разработке альбомов предполагалось, что адаптация их положений к продукции конкретных предприятий и региону предполагаемого применения будет происходить дополнительно.

В целом созданный по заказу НААГ и при активном участии ее участников стандарт «Автоклавный газобетон в строительстве зданий и сооружений на территории Российской Федерации» учитывает актуальное состояние производства, сложившуюся практику строительства и позволяет более полно и рационально использовать материал, занимающий важнейшее место на рынке строительных материалов России.

СТО НОСТРОЙ 121–2013

(представлен на публичное обсуждение первой редакции 19 августа 2013 г.)

Разработчиком документа является Союз предприятий строительной индустрии Свердловской области, исполнителем разработки — НААГ. Целью разработки документа является структурирование процедур контроля выполнения работ с применением АЯБ и уточнение требований к результатам таких работ. Даются инструктивные правила производства работ. В областях применения, допускающих вариативность исполнения, даются рекомендации. Документ охватывает весь спектр изделий из автоклавного ячеистого бетона, в том числе такие изделия и армированные конструкции, которые в настоящий момент российской промышленностью не производятся.

По существу представленный СТО развивает требования СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–84» к монтажу армированных изделий и кладке блоков из автоклавных ячеистых бетонов. Впервые в российский нормативный документ введено описание порядка работ по устройству тонкого кладочного шва, формализованы требования к его исполнению.

В качестве приложений к СТО НОСТРОЙ 121 используются:

приложение А — откорректированный по форме СТО НААГ 3.1–2013;

приложение Б — откорректированный по форме и сокращенный СТО 501-52-01–2007, часть II;

приложения В и Г — альбомы технических решений из приложений В и Г к СТО НААГ 3.1–2013.

Важным источником информации в части монтажа армированных изделий, выпуск которых еще не освоен, но уже запланирован российской промышленностью, стал русский перевод книги «Поробетон. Руководство» [12].

Документ, формат которого определяется подзаголовком «Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ, рекомендации по применению», для

изделий из ячеистых бетонов в законченном виде разрабатывается впервые. Поэтому разработчики благодарны за замечания, направленные к первой редакции документа, которые позволили выявить неочевидные для авторов недоработки и устранить терминологические неточности.

Хотя публичное обсуждение первой редакции стандарта завершено, разработчики будут благодарны за критику и отзывы на первую редакцию СТО НОСТРОЙ 121*. Приглашаем направлять комментарии и предложения по электронной почте на адрес: as@gazo-beton.org (до января 2014 г.).

Список литературы

1. Вишневский А.А., Гринфельд Г.И., Куликова Н.О. Анализ рынка автоклавного газобетона России // Строительные материалы. 2013. № 7. С. 40–44.
2. Малоэтажные дома из ячеистых бетонов. Каталог / ЛенЗНИИЭП. Минск: Минский филиал ЦИТП, 1989. 284 с.
3. Левченко В.Н., Гринфельд Г.И. Производство автоклавного газобетона в России: перспективы развития подотрасли // Строительные материалы. 2011. № 7. С. 17–19.
4. Гринфельд Г.И. Диалектика нормативных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций // Жилищное строительство. 2012. № 1. С. 22–24.
5. Жиронкин П.В., Геращенко В.Н., Гринфельд Г.И. История и перспективы промышленности керамических строительных материалов в России // Строительные материалы. 2012. № 5. С. 13–18.
6. Пинскер В.А., Вылегжанин В.П. Нормы РФ по проектированию и строительству зданий с применением ячеистых бетонов / Ячеистые бетоны в современном строительстве. Сб. докладов. Вып. 5. СПб.: НП «Межрегиональная Северо-Западная строительная палата». Центр ячеистых бетонов. 2008. С. 4–5.
7. Ухова Т.А., Паплавский Я.М., Гринфельд Г.И., Вишневский А.А. Разработка межгосударственных стандартов взамен ГОСТ 21520–89 и ГОСТ 25485–89 в части ячеистых бетонов автоклавного твердения // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 26–30.
8. Пинскер В.А., Вылегжанин В.П., Гринфельд Г.И. Прочность и деформативность стен из газобетона низкой плотности / Ячеистые бетоны в современном строительстве. Сб. докладов. Вып. 5. СПб.: НП «Межрегиональная Северо-Западная строительная палата». Центр ячеистых бетонов. 2008. С. 6–9.
9. Харченко А.П., Гринфельд Г.И. Сравнительные испытания кладки из автоклавных ячеисто-бетонных блоков с различным исполнением кладочного шва / Современный автоклавный газобетон: Сб. докладов науч.-практ. конференции. Краснодар. 15–17 мая 2013 г. С. 94–98.
10. Гринфельд Г.И. Армирование кладки из газобетонных блоков для восприятия температурно-усадочных напряжений // Технологии бетонов. 2012. № 7–8. С. 25–29.
11. Гринфельд Г.И. Инженерные решения обеспечения энергоэффективности зданий. Отделка кладки из автоклавного газобетона. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 90 с.
12. Гоманн М. Поробетон: руководство / Пер. с нем. Под ред. А.С. Коломацкого. Белгород: ЛитКараВан, 2010. 272 с.

* Текст стандарта, пояснительная записка к нему и уведомление о разработке находятся в свободном доступе по адресу: <http://nostroy.ru/sitePage.do?name=leftmenu0&id=28>.

Ю.С. ВЫТЧИКОВ, канд. техн. наук, Самарский государственный архитектурно-строительный университет; В.М. ГОРИН, канд. техн. наук, НИИКерамзит, М.В. ГОРИН, генеральный директор, ООО ПСК «Атлант» (Самара); И.Г. БЕЛЯКОВ, инженер, Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Исследование теплозащитных характеристик стеновых керамзитобетонных камней производства ООО ПСК «Атлант»

Принятый Государственной Думой Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» установил требования по снижению использования энергетических ресурсов.

Одним из эффективных направлений снижения расхода тепла на отопление зданий и сооружений является повышение теплозащитных характеристик ограждающих конструкций. Решить поставленную задачу можно с использованием энергоэффективных стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона, применение которых в жилищном строительстве подробно рассмотрено в работах [1, 2].

Анализ теплофизических характеристик обычного керамзитобетона показывает, что достичь низкого значения коэффициента теплопроводности не представляется возможным из-за относительно высокой теплопроводности растворной части. Исключение кварцевого или керамзитового песка из состава керамзитобетона позволяет существенно повысить его теплозащитные свойства благодаря возникновению замкнутых воздушных пор между зернами керамзита, обладающих низкой теплопроводностью.

В Самарской области на предприятиях ООО «Завод керамзитового гравия» (г. Октябрьск) и ООО «Эко-ресурс» (г. Тольятти) организовано производство стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона плотностью от 600 до 800 кг/м³.

Реализация программы энергосбережения в строительстве ставит повышенные требования по теплозащите наружных стен. Для достижения высокого класса

энергетической эффективности жилых и общественных зданий возникает необходимость в увеличении приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен до значений, соответствующих предписываемому подходу при выборе уровня теплозащиты. Для наружных стен жилых зданий, строящихся на территории Самарской области, требуемое сопротивление теплопередаче составляет $R_{0}^{тп} = 3,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

В ЗАО «НИИ Керамзит» (Самара) в настоящее время ведется разработка стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона и навесных панелей, обеспечивающих повышенные теплозащитные характеристики наружных стен жилых и общественных зданий за счет уменьшения плотности керамзитобетона до 400 кг/м³.

На предприятии ООО ПСК «Атлант» организовано производство стеновых камней, разработанных ЗАО «НИИКерамзит» (рис. 1, 2).

Для предварительной оценки теплопроводности стеновых камней авторами разработана инженерная методика, базирующаяся на использовании метода конечных элементов, для расчета температурных полей во фрагменте наружной стены с использованием комплексов THERM 5.2 или ANSYS [3].

В качестве исходных данных использовались значения коэффициента теплопроводности беспесчаного керамзитобетона, полученные экспериментальным путем с помощью измерителя теплопроводности ИТП-МГЧ 250 в соответствии с требованиями ГОСТ 7076–99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном режиме».



Рис. 1. Стеновой камень

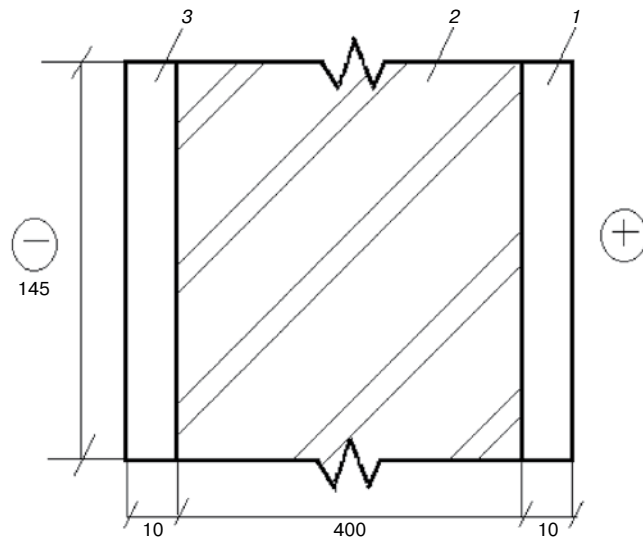


Рис. 2. Расчетная схема стенового камня: 1, 3 – цементно-песчаный раствор; 2 – беспесчаный керамзитобетон марки D400

Таблица 1

№ пробы	Плотность беспесчаного керамзитобетона в сухом состоянии, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности керамзитобетона, Вт/(м·°С)		
		в сухом состоянии	в условиях эксплуатации	
			А, ω = 3,5%	Б, ω = 5%
1	362	0,105	0,115	0,126
2	358	0,1	0,112	0,124
3	365	0,102	0,116	0,128
Среднее значение	362	0,102	0,114	0,126

Таблица 2

Наименование исполнения	Теплопроводность кладки из керамзитобетонных камней, Вт/(м·°С)			Сопротивление теплопередаче кладки наружной стены, м ² ·°С/Вт		
	в сухом состоянии	в условиях эксплуатации		в сухом состоянии	в условиях эксплуатации	
		А	Б		А	Б
Кладка из керамзитобетонных камней на цементно-песчаном растворе	0,14	0,152	0,17	3,32	2,91	2,59
Кладка из керамзитобетонных камней на растворе с пониженной теплопроводностью	0,12	0,13	0,15	3,66	3,5	2,96

Результаты испытаний трех образцов, вырезанных из полнотелого керамзитобетонного камня, размерами 250×250×250 мм, представлены в табл. 1. Испытания на теплопроводность проводились как в сухом состоянии, так и в условиях эксплуатации А и Б. Требуемое увлажнение достигалось путем выдерживания проб из керамзитобетона над парами воды в закрытом шкафу по мето-

дике, изложенной в СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».

Согласно ГОСТ 6133-99 «Камни бетонные стеновые. Технические условия» теплопроводность бетонных камней в кладке определяется по методике, изложенной в ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».

Теплопроводность оценивалась на фрагменте наружной стены, высота h и ширина l которого должна не менее чем в четыре раза превышать толщину δ (с учетом растворных швов). Сегментирование стены на конечные элементы, выполненное с помощью программного комплекса ANSYS, показано на рис. 3.

Расчет выполнялся для кладки (в сухом состоянии и условиях эксплуатации А и Б) из керамзитобетонных камней на раствор пониженной теплопроводности с применением керамзитового песка, а также на цементно-песчаном растворе.

Приведенное сопротивление теплопередаче кладки наружной стены определялось по формуле:

$$R_0 = \frac{t_b - t_n}{q}, \quad (1)$$

где t_b — расчетная температура воздуха в помещении, °С; t_n — расчетная температура наружного воздуха, принимаемая равной средней температуре наиболее холодного месяца, обеспеченностью 0,92, °С; q — среднее значение удельного теплового потока, Вт/м².

$$q = \alpha_b \cdot (t_b - \bar{t}_b), \quad (2)$$

где α_b — коэффициент теплоотдачи со стороны внутренней поверхности стены, Вт/(м·°С); $\bar{t}_b$ — среднее значение температуры внутренней поверхности фрагмента наружной стены, °С.

Результаты расчета теплозащитных характеристик кладок из керамзитобетонных камней, выполненного по изложенной выше методике, представлены в табл. 2.

В целях подтверждения расчетных данных сопротивления теплопередаче проведен физический эксперимент в климатической камере на фрагменте кладки из керамзитобетонных камней производства ООО ПСК «Атлант» на растворе с пониженной теплопроводностью.

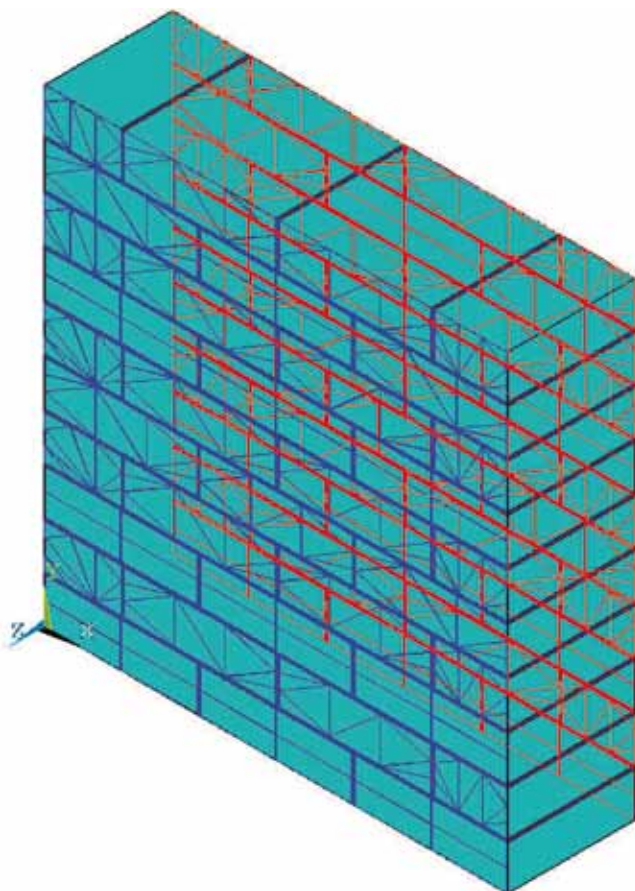


Рис. 3. Сегментированный фрагмент кладки наружной стены (конечные элементы)

Экспериментальные значения приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента кладки в условиях эксплуатации А подтвердило ранее полученные расчетные значения ($R_0^{np} = 3,5 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bt}$), что свидетельствует о правильно выбранной расчетной методике по оценке теплозащитных характеристик стеновых материалов.

Из табл. 2 следует, что кладка как на цементно-песчаном, так и на теплоизоляционном растворе соответствует нормативным требованиям по теплозащите жилых и общественных зданий, строящихся на территории Самарской области ($R_0^{tp} = 2 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bt}$).

Ключевые слова: теплозащита, сопротивление теплопередаче, керамзитобетон, наружная стена, энергосбережение.

Список литературы

1. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С. Современные ограждающие конструкции из керамзитобетона для энергоэффективных зданий // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 34–36.
2. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Шиянов Л.П. Применение стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона в жилищном строительстве // Строительные материалы. 2010. № 2. С. 15–18.
3. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г. Применение компьютерного моделирования для определения теплофизических характеристик стеновых строительных материалов / Труды X Международной научно-практической конференции «Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах». Пенза, 2009. С. 125–131.

ИНФОРМАЦИЯ

Международная научно-техническая конференция

«ИННОВАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ И ОБРАЗОВАНИИ»

4 октября 2013 г. на базе Тверского государственного технического университета (ТвГТУ) прошла Международная научно-техническая конференция с заочным участием «Инновации и моделирование в строительном материаловедении и образовании», организованная Академическим научно-творческим центром ЦРО РААСН «Тверьстройнаука» при ТвГТУ при поддержке Министерства образования и науки РФ, Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Министерства строительства и Министерства образования Тверской области. Генеральным информационным партнером конференции выступила редакция научно-технических журналов «Жилищное строительство» и «Строительные материалы»[®].

В работе конференции приняли участие более 50 ученых и ведущих специалистов вузов и научно-исследовательских институтов из семи регионов России и трех европейских стран.

Проведение конференции продиктовано требованиями сегодняшнего дня по ресурсосбережению в области производства строительных материалов, снижению материало- и энергоемкости отрасли. Процесс получения высокоэффективных малоэнергоёмких строительных материалов ставит перед исследователями ряд задач, в числе которых разработка оптимальных составов, рецептур, технологических режимов и многое другое.

Применение средств вычислительной техники позволяет решать многие задачи современного строительного материаловедения в области математического моделирования, прогнозирования свойств, автоматизированных расчетов и др. Появление универсальных оболочек и все более мощных алгоритмических языков программирования дает возможность использовать компьютер как средство, позволяющее автоматизировать процесс поиска оптимальных составов композитных материалов, построить модели структуры материала в объеме, применить физические законы и спрогнозировать изменение свойств материала в зависимости от внешних условий. Компьютерные модели, построенные на основании фактора случайности, позволяют достаточно полно описать структуру композитного материала, учитывая хаотичный характер распределения структурных элементов в объеме материала, что обосновывает подход к их изучению с позиций теории вероятности и математической статистики.

Использованию перечисленных выше инновационных подходов и методологии было посвящено большинство докладов.

В рамках конференции с большим успехом прошел мастер-класс ведущих ученых – членов оргкомитета конференции, а также двух

докторантов с молодыми учеными и преподавателями, аспирантами и студентами университета.

С приветственными словами к собравшимся выступили: ректор ТвГТУ д-р физ.-мат. наук, профессор А.В. Твардовский; председатель Центрального регионального отделения РААСН академик РААСН, д-р. техн. наук, профессор Е.М. Чернышев; проректор ТвГТУ, исполнительный директор АНТЦ «Тверьстройнаука», советник РААСН, д-р техн. наук, профессор В.В. Белов.

Большой интерес вызвал доклад Е.М. Чернышева, посвященный основным направлениям материаловедческих исследований академического центра «Архстройнаука» при Воронежском государственном архитектурно-строительном университете. Он познакомил аудиторию с последними достижениями не только воронежских ученых-материаловедов, но и широко обрисовал настоящее и будущее строительной науки во взаимосвязи с существующими проблемами.

Выступление члена-корр. РААСН, д-ра техн. наук, профессора В.С. Лесовика было организовано в рамках видеоконференции. Он представил перспективное направление развития научных исследований – использование возможностей искусственного интеллекта в решении задач зарождающейся науки – геоники и строительного материаловедения в целом.

Не меньший интерес проявили слушатели к выступлению главного редактора журналов «Жилищное строительство» и «Строительные материалы»[®] Е.И. Юмашевой, посвященному повышению роли научных и научно-технических журналов в продвижении достижений российских ученых на национальном и международном информационном пространстве.

Продолжил мастер-класс доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций ВГАСУ (Воронеж) Д.Н. Коротких с докладом на тему «Развитие и эволюция технологических платформ получения высокопрочных цементных бетонов». Он познакомил с важными для специалистов, работающих в области бетоноведения, сведениями по проектированию составов современных высокопрочных бетонов с учетом многоуровневого формирования их структуры.

Участниками мастер-класса была дана высокая оценка проведенному мероприятию и отмечена необходимость в дальнейшем продолжать работу в формате, позволяющем расширить кругозор, повысить профессиональный уровень молодых ученых Верхневолжья и вовлечь их в большую науку.

Научно-техническое совещание «Проектирование и строительство доступного и комфортного жилья с применением экологически чистого и энергоэффективного керамзитобетона»

11–12 сентября 2013 г. в Самаре состоялось научно-техническое совещание «Проектирование и строительство доступного и комфортного жилья с применением экологически чистого и энергоэффективного керамзитобетона». Его организаторами выступили некоммерческая организация «Союз производителей керамзита и керамзитобетона» и ЗАО «НИИКерамзит».

В работе совещания приняли участие руководители и специалисты предприятий по производству керамзита и керамзитобетона, проектных и строительных организаций, изготовителей технологического оборудования, ученые НИИСФ РААСН, ЦНИИЭП жилища, ЗАО «НИИКерамзит» и Самарского государственного архитектурно-строительного университета.

Генеральный директор ЗАО «НИИКерамзит», председатель НО «Союз производителей керамзита и керамзитобетона» канд. техн. наук **В.М. Горин** (Самара) выступил с докладом «О новых возможностях энергоэффективного керамзитобетона в индустриальном домостроении». Докладчик обосновал возможности расширения применения керамзита и керамзитобетона в жилищно-гражданском строительстве в связи с введением в действие с 1.06.2013 г. актуализированного СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий».

Заведующий лабораторией теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и конструкций НИИСФ РААСН д-р техн. наук **В.Г. Гагарин** (Москва) акцентировал внимание на нормировании и расчете теплозащиты и потребления энергии на отопление и вентиляцию зданий в актуализированной редакции СНиП 23-02–2003 (СП 50.13330.2012) «Тепловая защита зданий». В актуализированной редакции СНиПа нормирование теплозащиты зданий и расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию осуществляется тремя видами требований:

- поэлементные – к теплозащите ограждающих конструкций;
- к теплозащите оболочки здания (к совокупности всех наружных ограждающих конструкций);
- к суммарному расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий.

В описанной системе нормирования теплозащиты и удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию повышение требований к энергетической эффективности зданий осуществляется за счет:

- нормирования метода расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций;
- нормирования удельной теплозащитной характеристики здания.

Эти мероприятия позволят задействовать резервы повышения теплозащиты зданий при:

- проектировании конструкций с пониженным влиянием теплотехнических неоднородностей;
- проектировании зданий с оптимальными архитектурно-планировочными решениями.

В то же время они не вызовут существенного удорожания стоимости строительства. Методика расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий по своему содержанию практически соответствует методике в СНиП 23-02–2003 (с небольшими изменениями, в частности ликвидирована ошибка определения площади), но по форме изменена для удобства использования в практических расчетах и анализах расхода тепловой энергии.

Система нормирования обладает потенциалом для развития. Одним из очевидных шагов представляется переход зависимости от этажности при нормировании удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий к зависимости от объема здания.

О современной методологии проектирования доступного и комфортного жилья и необходимости разработки альбома архитектурно-технических решений жилых и общественных зданий из керамзитобетона с вариантами кон-





структивных решений выступил директор по научной деятельности ЦНИИЭП жилища канд. архитектуры **А.А. Магай** (Москва).

Отрадно отметить, что в последние годы появились российские разработки технологии производства современных керамзитобетонных конструкций. Генеральный директор ЗАО «Строительные технологии и машины» **С.П. Копша** (г. Хвалынский Саратовской обл.) представил технологию непрерывного формирования железобетонных конструкций, разработанную компанией. Технология позволяет производить стеновые элементы при формировании на длинных стендах, которые затем разрезаются на крупные и мелкие блоки. Специалисты предполагают к 2015 г. выйти на промышленное производство поточных линий стеновых элементов для каркасного строительства.

Об исследованиях тепловых характеристик стеновых керамзитобетонных камней производства ООО ПСК «Атлант» рассказал канд. техн. наук **Ю.С. Вытчиков** (Самарский государственный архитектурно-строительный университет). В докладе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования теплозащитных характеристик стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона. Расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче кладки из стеновых камней на цементно-песчаном растворе и растворе с повышенными теплоизоляционными характеристиками были получены с помощью метода, разработанного авторами. Текст выступления читайте на стр. 7.

Аспирант Самарского государственного архитектурно-строительного университета **М.Е. Сапарев** затронул вопросы повышения теплозащитных характеристик керамзитобетонных ограждающих конструкций с помощью экранной тепловой изоляции и привел теплотехнический расчет подобной конструкции. Подробнее читайте на стр. 12.

Директор ЗАО «НИИКерамзит» **С.А. Токарева** проинформировала участников научно-технического совещания о состоянии разработки межгосударственных стандартов по производству керамзита и керамзитобетона. В настоящее время разработаны стандарты: ГОСТ 9758–2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний» (введен в действие в качестве национального стандарта РФ с 1.11.2013 г.); ГОСТ 32026–2012 «Сырье глинистое для производства керамзитовых гравия, щебня и песка. Технические условия» (вводится в действие в качестве национального стандарта РФ с 1.01.2014 г.); на стадии согласования ГОСТы «Панели стеновые наружные железобетонные из керамзитобетона для жилых и обще-



ственных зданий. Технические условия», «Материалы теплоизоляционные на основе пористых заполнителей для зданий и сооружений. Технические условия», «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия». Светлана Александровна обратила особое внимание на недостаточное бюджетное финансирование разработки межгосударственных и национальных стандартов, что тормозит работу проектировщиков и строителей, а также возможность более широкого применения материалов.

На совещании особое внимание было уделено обеспечению безопасности зданий и сооружений, в том числе и при проектировании. Ведущий инженер ЗАО «НИИКерамзит» **П.П. Уваров** отметил отдельные недостатки государственного технического регулирования в области строительства, долговечности, пожарной и санитарно-гигиенической безопасности жилых и общественных зданий, которые не учитываются при проектировании, что отрицательно сказывается на качестве жилья.

Опытном проектировании конструкций несущих и самонесущих стен для каркасных зданий поделился директор ООО «Поволжский центр экспертизы и испытаний ИМТОС» канд. техн. наук **В.В. Репекто** (Самара). Об основных аспектах производства энергоэффективных керамзитобетонных изделий и конструкций рассказал генеральный директор ООО «Завод керамзитового гравия» **Л.П. Шиянов** (г. Октябрьск Самарской области).

На научно-техническом совещании шел заинтересованный разговор об актуальных проблемах производства и применения в жилищно-гражданском строительстве долговечных, энергоэффективных, пожаробезопасных и экологически чистых керамзитобетонных изделий и конструкций, о путях расширения их применения для решения насущной проблемы строительства доступного и комфортного жилья, о нерешенных вопросах технического регулирования в строительстве. На совещании с конкретными предложениями и пожеланиями выступили руководители ряда предприятий по производству керамзита и керамзитобетона.

Научно-техническое совещание приняло развернутое решение по актуальным вопросам производства и применения долговечных, энергоэффективных, пожаробезопасных, экологически чистых и доступных по цене керамзитобетонных изделий и конструкций в жилищно-гражданском строительстве, в том числе совместно с ЗАО «НИИКерамзит».

ЦНИИЭП жилища запланирована разработка альбома архитектурно-технических решений жилых и общественных зданий из керамзитобетона.

М.Е. САПАРЕВ, инженер, Ю.С. ВЫТЧИКОВ, канд. техн. наук,
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Повышение теплозащитных характеристик керамзитобетонных ограждающих конструкций с помощью экранной тепловой изоляции

Реализация целевой программы по энергосбережению в области строительства подразумевает использование многослойных наружных ограждающих конструкций, в которых можно выделить конструктивный и теплоизоляционный слои. В качестве теплоизоляции в таких конструкциях традиционно используются эффективные полимерные теплоизоляционные материалы. Однако использование в качестве среднего слоя полимерного материала в трехслойных наружных стенах может привести в ряде случаев к накоплению влаги в ограждении. [1]

Одним из вариантов, позволяющих избежать использования утеплителей на полимерной или волокнистой основе, является возведение наружных ограждений из керамзитобетона. Это возможно при использовании керамзитобетона, обеспечивающего нормативное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, указанного в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

В современном строительстве широко используются стеновые камни из керамзитобетона плотностью 700–800 кг/м³. Ограждающие конструкции из таких камней имеют достаточно высокую прочность, однако они, как правило, не обеспечивают необходимого значения сопротивления теплопередаче.

Увеличение сопротивления теплопередаче за счет изменения формы керамзитовых камней требует внесения значительных изменений в существующие технологические линии производства. Кроме того, часто возникает необходимость повышения сопротивления теплопередаче уже существующих ограждающих конструкций.

Одним из способов повышения теплозащитных свойств является применение экранной тепловой изоляции. Ее преимуществом является то, что в качестве теплоизолятора используется также воздух, обладающий низким значением теплопроводности. Указанная выше теплоизоляция имеет малую объемную массу, негигроскопична, применима при повышенной и низкой температуре. Утепление стен с помощью экранной изоляции можно производить как снаружи, так и изнутри здания.

В настоящее время на отечественном рынке представлен большой выбор подобных теплоизоляционных материалов как российского, так и зарубежного производства. К ним относятся материалы на основе вспененного полиэтилена с экранной изоляцией из алюминиевой фольги. Подобную теплоизоляцию изготавливают с односторонним (Пенофол, Магнофол и др.) и двусторонним (Aluthermo QUATRO, Изолон, Теплофол и др.) фольгированием. Также на рынке присутствуют материалы из минеральной ваты, кашированные алюминиевой фольгой.

Экранную изоляцию в строительных конструкциях целесообразно использовать в виде пакета, который представляет собой совокупность материалов с малой поглощательной и большой отражательной способностями экранов с воздушными невентилируемыми прослойками между ними.

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций с применением экранной изоляции требует информации о ее теплозащитных характеристиках, а также о теплозащитных свойствах замкнутых воздушных прослоек. Имеющиеся различия в закономерностях лучистого теплообмена, теплопроводности и конвекции, которые участвуют в процессе теплопередачи через воздушные прослойки, осложняют получение подобной информации. При оценке теплозащитных свойств воздушных прослоек используется комплексный подход, позволяющий учесть все составляющие в процессе теплопереноса.

Об эффективности воздушных прослоек в совокупности с экранной изоляцией применительно к ограждающим конструкциям упоминается в работе [2]. В работе [3] отмечаются высокие эксплуатационные свойства и постоянство отражающей способности алюминиевой фольги и термического сопротивления воздушной прослойки даже при неблагоприятных условиях.

Применение алюминиевой фольги в воздушных замкнутых прослойках повышает согласно СП 50.13330.2012 термическое сопротивление материала примерно в два раза. Указанная выше рекомендация является весьма приближенной и не учитывает особенностей процессов сложного теплообмена в воздушных прослойках.

Для более детального исследования теплозащитных свойств замкнутых воздушных прослоек авторами предложена методика теплотехнического расчета, описанная в работе [4].

В целях упрощения расчета процесса сложного теплообмена в воздушных прослойках в работе [5] предложено использовать понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности, определяемого по формуле:

$$\lambda_{\text{экв}} = \lambda_{\text{м}} \epsilon_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}} \delta, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{м}}$ — молекулярный коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°C); $\epsilon_{\text{к}}$ — поправочный коэффициент, учитывающий дополнительный перенос тепла путем конвекции; $\alpha_{\text{л}}$ — коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м²·°C); δ — толщина воздушной прослойки, м.

Для определения $\epsilon_{\text{к}}$ можно использовать приближенную зависимость, полученную М. А. Михеевым при $10^3 < \text{GrPr} < 10^6$:

$$\epsilon_{\text{к}} = 0,105(\text{GrPr})^{0,3}$$

Величину $\alpha_{\text{л}}$ определяют по формуле:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{C_0 \left[\left(\frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 \right]}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) (t_1 - t_2)},$$

где $C_0 = 5,67$ Вт/(м²·K⁴) — коэффициент излучения абсолютно черного тела; ϵ_1, ϵ_2 — степень черноты внутренних поверхностей прослойки.

Таблица 1

Положение воздушной прослойки	Термическое сопротивление экранной теплоизоляции $R_{м*}$ ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт	Термическое сопротивление воздушной прослойки $R_{в*}$ ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт	Суммарное термическое сопротивление фрагмента конструкции $R_{0пр}$ ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт
Вертикальная воздушная прослойка (рис. 2, а)	0,213	0,437	0,65
Горизонтальная воздушная прослойка (рис. 2, б)	0,213	0,467	0,68
Горизонтальная воздушная прослойка (рис. 2, в)	0,213	0,639	0,852

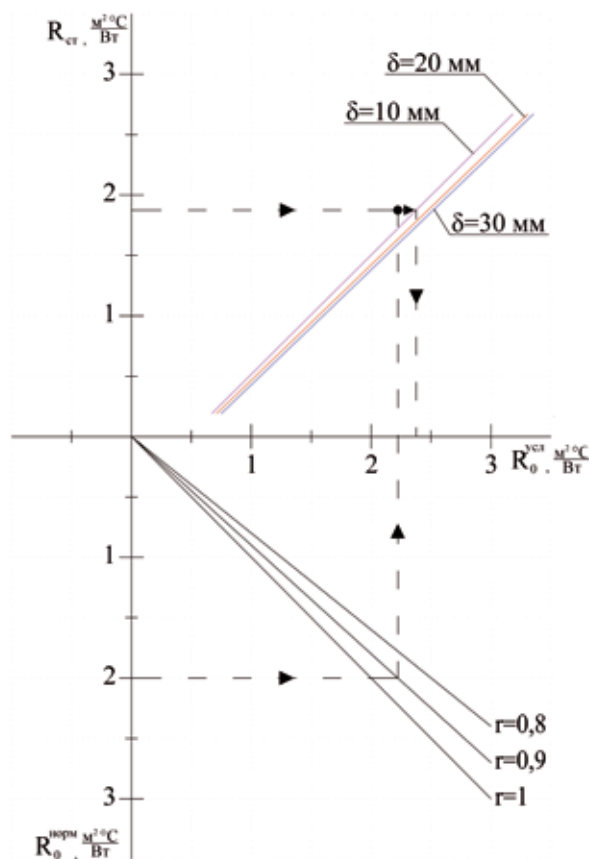


Рис. 1. Номограмма для определения толщины воздушной прослойки

Для определения величин, входящих в формулу (1), рекомендуется использовать изложенный ниже метод последовательных приближений, разработанный авторами.

Предварительно задаются значения температуры на внутренних поверхностях воздушной прослойки, с использованием которых определяются величины $\lambda_{экв}$ и термического сопротивления воздушной прослойки. После их определения рассчитываются сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, значения температуры внутренних поверхностей воздушной прослойки t_1 и t_2 и уточняется величина $\lambda_{экв}$. Расчет выполняется несколько раз по достижении заданной точности.

Данная методика позволяет учесть влияние направления теплового потока, отражательные способности и значение температуры ограничивающих поверхностей на термическое сопротивление воздушной прослойки.

В целях упрощения решения рассматриваемой задачи предлагается использовать номограмму, представленную на рис. 1, позволяющую определить требуемую толщину воздушной прослойки при расположении ее с внутренней поверхности наружной стены. В качестве исходных данных используются нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче, а также сопротивление теплопередаче неутепленной наружной стены.

Для проверки изложенной методики проведен эксперимент, целью которого являлось определение теплопроводности экранированных воздушных прослоек при различных направлениях вектора теплового потока.

В ходе эксперимента рассматривались варианты конструкций (рис. 2, а–в) с различными направлениями теплового потока, проходящего через них. Подробная методика проведения эксперимента описана в работе [6]. Значения экспериментальных данных приведены в табл. 1.

Теплотехнический расчет наружной стены жилого здания выполнен для условий Самары с применением стеновых камней из керамзитобетона плотностью 700–800 кг/м³ (рис. 3). Фрагмент рассматриваемой ограждающей конструкции представлен на рис. 4.

В расчете использованы следующие обозначения: δ – толщина слоя, м; γ – плотность материала в сухом состоянии, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала в условиях эксплуатации А, Вт/(м·°C); $R_0^{пр}$ – приведенное сопротивление теплопередаче, м²·°C/Вт; $R_0^{всх}$ – сопротивление теплопередаче глади стены, м²·°C/Вт; r – коэффициент теплотехнической однородности, принимаемый согласно СП 23-101-2004; $\alpha_{в}$, $\alpha_{н}$ – значения коэффициентов теплоотдачи со стороны внутренней и наружной поверхности соответственно, Вт/(м²·°C);

$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ термическое сопротивление слоя, м²·°C/Вт.

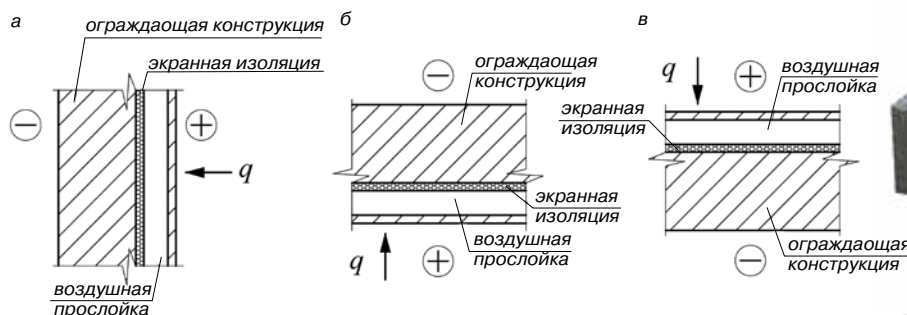


Рис. 2. Варианты конструкций

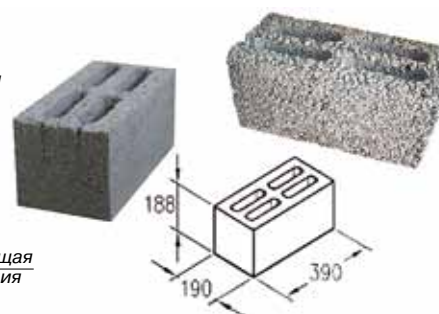


Рис. 3. Рассматриваемые стеновые камни из керамзитобетона

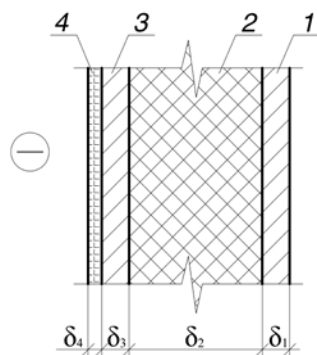


Рис. 4. Фрагмент наружной стены: 1 – цементно-песчаный раствор ($\delta_1=0,01$ м, $\gamma_1=1800$ кг/м³, $\lambda_1=0,76$ Вт/(м·°C)); 2 – кладка из керамзитовых камней на цементно-песчаном растворе ($\delta_2=0,39$ м, $\gamma_2=790$ кг/м³, $\lambda_2=0,249$ Вт/(м·°C)); 3 – цементно-песчаный раствор ($\delta_3=0,01$ м, $\gamma_3=1800$ кг/м³, $\lambda_3=0,76$ Вт/(м·°C)); 4 – фактурное покрытие фасадной системы ($\delta_4=0,005$ м, $\gamma_4=1800$ кг/м³, $\lambda_4=0,7$ Вт/(м·°C))

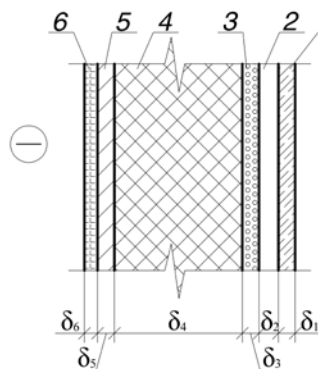


Рис. 5. Фрагмент утепленной наружной стены: 1 – гипсокартонные листы ($\delta_1=0,01$ м, $\gamma_1=1050$ кг/м³, $\lambda_1=0,34$ Вт/(м·°C)); 2 – воздушная прослойка ($\delta_2=0,015$ м); 3 – пенофол ($\delta_3=0,01$ м, $\gamma_3=54$ кг/м³, $\lambda_3=0,047$ Вт/(м·°C)); 4 – кладка из керамзитовых камней на цементно-песчаном растворе ($\delta_4=0,39$ м, $\gamma_4=790$ кг/м³, $\lambda_4=0,249$ Вт/(м·°C)); 5 – цементно-песчаный раствор ($\delta_5=0,01$ м, $\gamma_5=1800$ кг/м³, $\lambda_5=0,76$ Вт/(м·°C)); 6 – фактурное покрытие фасадной системы ($\delta_6=0,005$ м, $\gamma_6=1800$ кг/м³, $\lambda_6=0,7$ Вт/(м·°C))

1. Определяется требуемое сопротивление теплопередаче исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий согласно СП 50.13330.2012:

$$R_{01}^{норм} = \frac{n(t_b - t_n)}{\Delta t^n \cdot \alpha_b} = \frac{1(20 + 30)}{4 \cdot 8,7} = 1,44 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

где Δt^n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха t_b и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции T_b , °C, принимается по СП 50.13330.2012.

2. Вычисляется нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены согласно СП 50.13330.2012 по формуле:

$$R_{02}^{норм} = R_0^{тр} m_p,$$

где $R_0^{тр}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°C/Вт, принимаемое в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП), °C·сут/год, региона строительства и определяемое по таблице 3 СП 50.13330.2012; m_p – коэффициент, учитывающий особенности строительства региона для Самарской области для наружных стен $m_p=0,63$.

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{оп}) \cdot Z_{оп} = (20 + 5,2) \cdot 203 = 5117 \text{ °C} \cdot \text{сут},$$

где $t_{оп}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °C, принимается по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»; $Z_{оп}$ – продолжительность отопительного периода, сут, принимается по СП 131.13330.2012.

По таблице 3 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий для наружных стен жилых зданий» определяется значение величины $R_0^{тр}$:

$$R_0^{тр} = 3,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Тогда

$$R_{02}^{норм} = 3,19 \cdot 0,63 = 2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

3. Определяется сопротивление теплопередаче глади наружной стены:

$$R_0^{учл} = \frac{1}{\alpha_b} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{0,39}{0,249} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{0,005}{0,7} + \frac{1}{23} = 1,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

4. Значение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены определяется при $\gamma=0,9$:

$$R_0^{пр} = \gamma R_0^{учл} = 0,9 \cdot 1,75 = 1,58 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Анализируя результаты расчета, можно сделать вывод, что приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемой конструкции наружной стены оказалось ниже сопротивления теплопередаче, соответствующего условиям энергосбережения. Поэтому для выполнения нормативных требований необходимо повышение теплозащитных свойств рассматриваемой конструкции за счет применения экранной изоляции.

Фрагмент наружной стены, утепленной с помощью экранной изоляции, представлен на рис. 5.

Зная сопротивление теплопередаче глади неутепленной наружной стены и нормируемое значение сопротивления теплопередаче при $\gamma=0,9$ по номограмме, представленной на рис. 1, можно определить необходимую толщину воздушной прослойки. Для выполнения требований теплозащиты достаточно применения воздушной прослойки толщиной 10 мм, однако из конструктивных соображений принимается воздушная прослойка толщиной 15 мм. Значение эквивалентного коэффициента теплопроводности по результатам расчета составило 0,038 Вт/(м·°C).

Определим сопротивление теплопередаче глади утепленной стены:

$$R_0^{учл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,34} + \frac{0,015}{0,038} + \frac{0,01}{0,047} + \frac{0,39}{0,249} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{0,005}{0,7} + \frac{1}{23} = 2,41 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Согласно СП 50.13330.2012 расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций рекомендуется производить с использованием построенных двумерных температурных полей. Для этого применяется специально разработанная методика, базирующаяся на методе конечных элементов, реализованном с помощью специализированной программы THERM 6.3, предназначенной для решения двумерных задач теплопроводности и диффузии водяного пара в строительных ограждающих конструкциях здания.

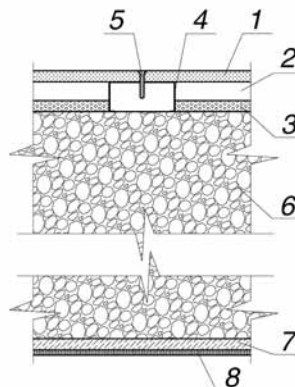


Рис. 6. Фрагмент расчетной схемы утепленной наружной стены: 1 – гипсокартонные листы; 2 – воздушная прослойка; 3 – пенофол; 4 – металлический профиль; 5 – саморез; 6 – кладка из керамзитовых камней на цементно-песчаном растворе; 7 – цементно-песчаный раствор; 8 – фактурное покрытие фасадной системы

На рис. 6 представлен фрагмент расчетной схемы утепленной стены.

В результате получается температурное поле в условиях эксплуатации А (рис. 7).

Приведенное сопротивление теплопередаче определяем по формуле:

$$R_{пр} = \frac{t_{в} - t_{н}}{\alpha_{в}(t_{в} - \tau_{в,ср})}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

где $\tau_{в,ср}$ — средняя температура, °С, внутренней поверхности ограждающей конструкции, рассчитывается на основе полученных температурных полей, $\tau_{в,ср} = 17,4 \text{ °C}$.

Тогда

$$R_{пр} = \frac{20 - (-30)}{8,7(20 - 17,4)} = 2,21 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Как показали результаты расчета, приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента наружной стены, утепленной с помощью экранной изоляции, выше нормативного значения. Предлагаемая авторами наружная стена удовлетворяет современным санитарно-гигиеническим, комфортным условиям и требованиям энергосбережения.

Ключевые слова: керамзитобетон, ограждающая конструкция, экранная теплоизоляция, воздушная прослойка, термическое сопротивление, теплопроводность, тепловой поток, температурные поля.

Список литературы

1. Витчиков Ю.С., Горин В.М., Токарева С.А. Исследование теплофизических характеристик стеновых

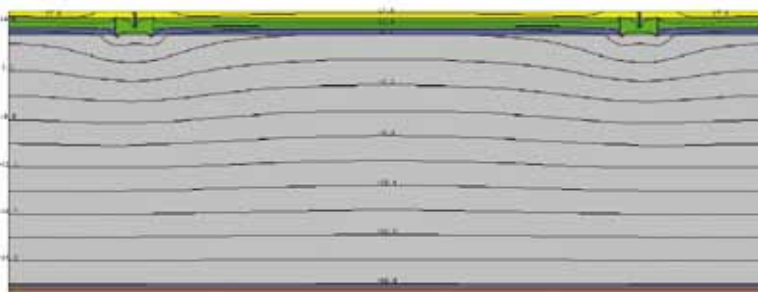


Рис. 7. Температурное поле в фрагменте утепленной наружной стены

- каменной из беспесчаного керамзитобетона // Строительные материалы. 2011. № 8. С. 42—43.
2. Каммерер И.С. Теплоизоляция в промышленности и строительстве. М.: Стройиздат, 1965. 278 с.
3. Умняков П.Н. Применение отражательной теплоизоляции в ограждающих конструкциях. Дисс. канд. техн. наук. М., 1958.
4. Витчиков Ю.С., Сапарев М.Е. Исследование теплозащитных характеристик сэндвич-панелей с применением экранной изоляции. Межвузовский сб. трудов «Повышение энергоэффективности зданий и сооружений». Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Вып. 7. 2012. С. 10—16.
5. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973. 287 с.
6. Витчиков Ю.С., Сапарев М.Е. Экспериментальное исследование теплозащитных характеристик ограждающих конструкций с применением экранной изоляции. Сб. трудов «Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах». Пенза: ПГУАС, 2013. С. 50—53.


ЗАО "НИИКерамзит"

Более 50 лет успешной научно-практической и внедренческой деятельности в области производства искусственных пористых заполнителей и бетона на их основе

- Обследование технологических линий и разработка предложений по их модернизации
- Исследование физико-химических и технологических свойств глинистого сырья, оценка его пригодности для производства керамзита и кирпича, подбор эффективных технологических решений
- Разработка научно-технической документации (технологических регламентов, технических условий и др.)
- Оказание технической помощи при модернизации существующих и строительстве новых предприятий
- Подбор составов керамзитобетона на местных материалах с отработкой технологии
- Определение основных физико-механических и теплотехнических характеристик керамзитового гравия и керамзитобетона
- Выполнение теплотехнических расчетов наружных ограждающих конструкций зданий
- Разработка и внедрение технологий утилизации и переработки крупнотоннажных отходов: нефтедобычи и нефтепереработки, водоочистных сооружений, зол и шлаков ТЭЦ и др.

Оказываем помощь по поставкам керамзитового гравия и оборудования для его производства.

Россия, 443086, Самара, Ерошевского 3"А"
 Телефон/факс (846) 263-00-79, 263-42-49
 E-mail: keramzitnii@yandex.ru www.NIIKeramzit.ru



СОЮЗ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
КЕРАМЗИТА
и КЕРАМЗИТОБЕТОНА

некоммерческая организация

Россия, 443086, Самара, Ерошевского, 3 «А»
 E-mail: keramzit_union@mail.ru
 Тел./факс: (846) 263-42-49

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ

- Осуществление четкой, обоснованной научно-технической политики
- Выработка кардинальных направлений по применению керамзита и керамзитобетона в России и за рубежом
- Организация рекламно-информационной службы для продвижения керамзита и керамзитобетонных изделий на строительном рынке
- Оказание содействия членам союза в заключении договоров на поставку продукции
- Участие членов союза в разработке нормативных правовых актов, государственных программ, стандартов и иных документов на региональном, федеральном, межгосударственном уровнях

Союз производителей керамзита
и керамзитобетона приглашает
в свои ряды единомышленников!

А.В. ГРИНЕВИЧ, А.А. КИСЕЛЕВ, Е.М. КУЗНЕЦОВ, кандидаты техн. наук, Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам им. Я.В. Самойлова (Москва); А.Ф. БУРЬЯНОВ, д-р техн. наук, Московский государственный строительный университет

Получение синтетического ангидрита сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и молотого известняка

Пирометаллургическая переработка медь-, цинк-, никель- и свинецсодержащего сырья сопряжена с выделением большого количества сернистого ангидрита. Например, по данным [1], в 2009 г. количество выбрасываемого SO_2 предприятиями Заполярного филиала (ЗФ) ОАО «ГМК «Норильский никель» составило 2 млн т. Одним из распространенных методов утилизации SO_2 на заводах цветной металлургии является их переработка в серную кислоту контактным методом. В свою очередь, концентрированная H_2SO_4 с учетом логики не всегда может быть переработана в традиционные целевые продукты (минеральные удобрения и др.) с достижением положительной экономической эффективности, например в условиях ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель».

Возможный профицит серной кислоты на предприятиях цветной металлургии повышает актуальность новых (альтернативных) направлений ее утилизации, например путем обработки кальцийсодержащими нейтрализующими реагентами (известняк, мел, известь, известковое молоко) с получением различных модификаций сульфата кальция, которые в конечном счете используются в качестве гипсовых вяжущих. По данному направлению ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» в лабораторных условиях выполнены [1] две работы по получению из серной кислоты техногенного ангидрита сульфата кальция с последующим использованием его при приготовлении смесей для закладки отработанного пространства рудников. В первом случае раствор H_2SO_4 обрабатывался измельченным известняком с получением $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, который далее обжигался до CaSO_4 . Во втором – концентрированная H_2SO_4 обрабатывалась измельченным известняком по методу Саккетта с получением ангидрита сульфата кальция, который может быть использован для приготовления закладочных смесей. При тестировании образцов закладочных смесей с использованием техногенного CaSO_4 получены положительные результаты. В настоящее время в ЗФ для получения закладочных смесей типа ангидрит–шлак–цемент (АШЦ), ангидрит–шлак–щебень–цемент (АШЩЦ), ангидрит–шлак (АШ) и ангидрит–шлак–щебень (АШЩ) используют [2] природный ангидрит сульфата кальция (рудник «Ангидрит» мощностью ~1,5 млн т в год).

Промышленная реализация разработанных способов утилизации серной кислоты с использованием техногенного ангидрита проблематична вследствие сложности технологической схемы осаждения $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в виде труднофильтруемого влагоемкого осадка и больших затрат энергии на последующее обезвоживание до CaSO_4 по первому варианту, а также низкой технологичности, инженерной сложности метода Саккетта, предполагающего взаимодействие тонкодиспергированных потоков серной кислоты и молотого известняка в замкнутом воздушном объеме.

В ТОО «Казцинк» (Республика Казахстан) была создана промышленная установка по нейтрализации концентрированных растворов серной кислоты (~93–94% H_2SO_4) известняком с целью получения $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, последующего его обезвоживания и использования в качестве вяжущего. Обработка серной кислоты осуществлялась водной суспензией известняка, что предопределяло проведение процесса нейтрализации в разбавленных растворах с образованием низкоконтентрированных суспензий. В описанных условиях (при непрерывно изменяющемся pH раствора) гипс кристаллизуется в виде мелких призматических кристаллов, перед фильтрацией требуется предварительное сгущение пульпы, фильтрация малопродуктивна, осадок сульфата кальция характеризуется большой влагоемкостью. В связи с изложенным выше производством вяжущего представляется затратным. Реально в настоящее время указанная промышленная установка используется для нейтрализации серной кислоты, а $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ складывается в отвале.

Таким образом, в промышленной практике и на уровне исследований отсутствует рациональная экономически обоснованная технология производства синтетического ангидрита сульфата кальция на основе взаимодействия концентрированной серной кислоты и молотого кальцийсодержащего сырья.

Целью настоящих исследований явилась разработка нового способа получения синтетического ангидрита сульфата кальция непосредственно из сильноокислых растворов при взаимодействии серной кислоты концентрацией 94–95% с молотым известняком.

Теоретической основой осуществления кристаллизации ангидрита сульфата кальция из сернокислых растворов концентрацией 0–60% H_2SO_4 при температуре

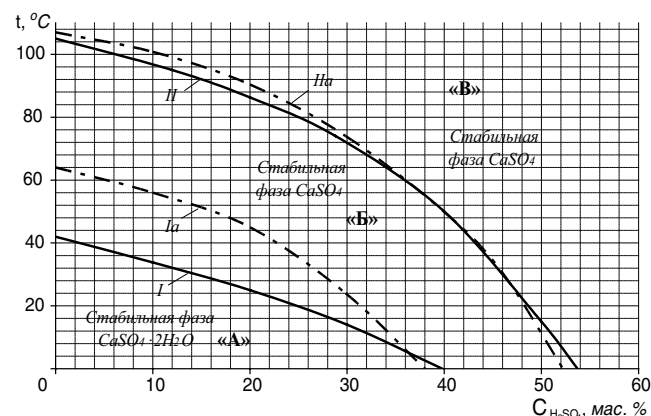


Рис. 1. Диаграмма равновесных взаимопереходов стабильных и метастабильных фаз сульфата кальция в растворах H_2SO_4 при разной температуре: I и Ia – кривые равновесных переходов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \gamma\text{-CaSO}_4$; II и IIa – кривые равновесных метастабильных переходов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ (I, II – данные А.Б. Здановского; Ia и IIa – тензиметрические данные Вант-Гоффа)

Таблица 1

Образец	Массовая доля, %					
	CaCO ₃	MgCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃
№ 1 мел Хохольского месторождения (Воронежская область)	96,55	0,63	1,69	0,46	0,24	0,04
№ 2 молотый известняк Полотняно-Заводского месторождения (Калужская область)	96,9	0,78	0,96	0,22	0,29	0,1

Таблица 2

Образец	Массовая доля фракции, %							
	+1 мм	-1+0,63 мм	-0,63+0,5 мм	-0,5+0,2 мм	-0,2+0,16 мм	-0,16+0,1 мм	-0,1+0,05 мм	-0,05 мм
1	21,8	10	3,4	12,5	8,8	14,8	9,3	19,4
2	12,3	8,7	2,8	13,9	3,1	10,3	19,5	29,4

0–110°C является диаграмма (рис. 1) равновесных взаимопревращений различных фаз сульфата кальция в данной системе [3, 4]. Из рис. 1 видно, что выше кривых I (Ia) стабильной фазой является ангидрит сульфата кальция. Помещенный в поле кристаллизации «Б» дигидрат сульфата кальция в соответствии с правилом ступеней Оствальда [5] будет переходить в CaSO₄·0,5H₂O, а затем в CaSO₄. Кривые II (IIa) на рис. 1 являются кривыми метастабильного равновесия CaSO₄·2H₂O ↔ α-CaSO₄·0,5H₂O. Непосредственная кристаллизация из сернокислых растворов ангидрита сульфата кальция возможна только в поле «В». При этом для кристаллизации ангидрита из растворов H₂SO₄ меньшей концентрации требуется значительное увеличение температуры и наоборот.

На основании вышеизложенного, получение ангидрита сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и молотого известняка в данной работе осуществлялось в поле кристаллизации «В» (интервал температуры 85–97°C, концентрация H₂SO₄ в растворе 5–45%) в условиях периодического и непрерывного

лабораторного эксперимента. В качестве исходной серной кислоты использовалась техническая контактная H₂SO₄, полученная из элементной серы на ОАО «ФосАгро-Череповец» (94–95% H₂SO₄). Химический состав опытных образцов кальцийсодержащего сырья представлен в табл. 1.

Дисперсионный состав образцов представлен в табл. 2 (определялся методом сухого рассева с использованием виброустановки Fritsch analisette Spartan при амплитуде 2,5 и сит +1 мм; +0,63 мм; +0,5 мм; +0,2 мм; +0,16 мм; +0,1 мм; +0,05 мм).

Найдены как минимум три рабочих режима кристаллизации из сернокислых растворов легкофильтрующихся сростков кристаллов ангидрита сульфата кальция. Некоторые модификации сростков ангидрита представлены на микрофотографиях, полученных с использованием сканирующего электронного микроскопа CamScan S-2 (рис. 2, 3).

Полученные сростки ангидрита сульфата кальция можно идентифицировать как незакономерные [5].

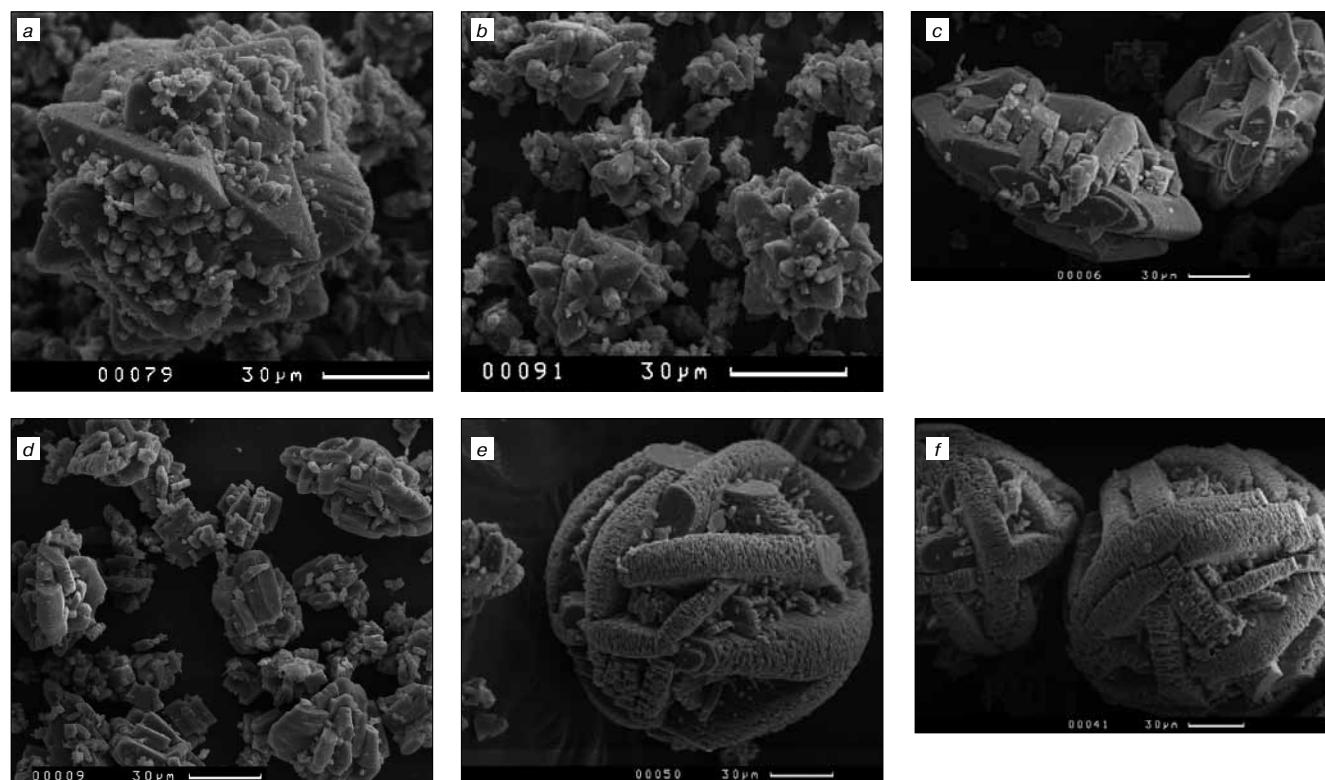


Рис. 2. Габитус кристаллов синтетического ангидрита сульфата кальция в зависимости от условий получения, режим: I – a–b; II – c–d; III – e–f

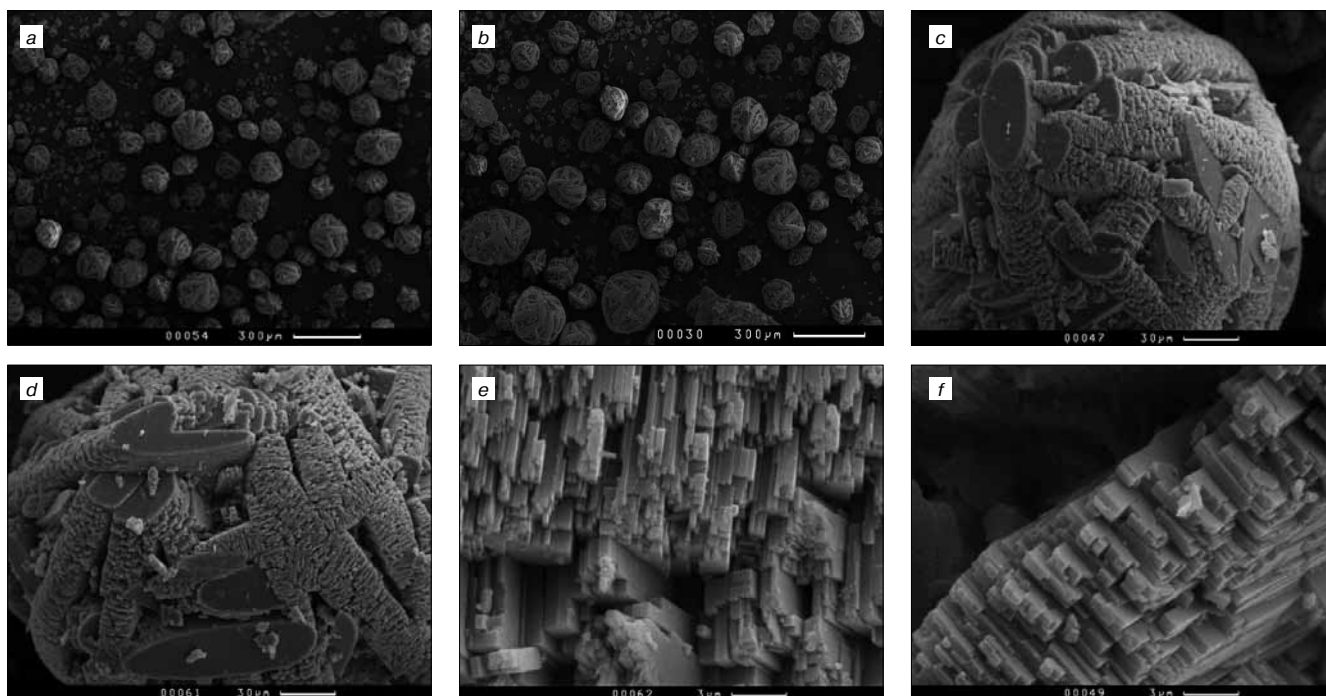


Рис. 3. Микрофотографии кристаллов ангидрита сульфата кальция: оптимальные условия – режим III, а–b – общий вид; c–d – единичные кристаллы; e–f – поверхность кристаллов CaSO_4

Образование указанных сростков, вероятно, обусловлено высокими степенями пересыщения сернокислого раствора по ангидриту сульфата кальция даже в условиях интенсивного перемешивания суспензии. Созданию высоких пересыщений раствора по CaSO_4 способствует его низкая растворимость в растворах серной кислоты при температуре 50–95°C (~0,12–1 мас. %) [3–4] и высокая скорость растворения карбоната кальция в серной кислоте, которая даже при 75°C может достигать 250 мг/(см²·ч) [6]. Наиболее компактные, практически шарообразные сростки CaSO_4 , имеющие величину 80–220 мкм, получены в режиме III. При этом сростки, как правило, имеют неровную ступенчатую поверхность (рис. 3, e–f), что также характерно для кристаллизации солей из высокопересыщенных растворов [5].

Осадок ангидрита сульфата кальция имел поверхность 750–1550 см²/г (меньшая соответствует режиму III), легко фильтровался и отмывался от остаточной серной кислоты (содержанием до тысячных долей %). Методом рентгенофазового анализа с использованием камеры монохроматора FR-552 ($\text{Cu-K}_{\alpha 1}$ –излучение) установлено, что фазовый состав сульфата кальция соответствует нерастворимому ангидриту. Об этом также свидетельствуют небольшое содержание кристаллизационной воды (не более 0,7%) и яркая характерная по-

ляризационная окраска (при исследовании сульфата кальция оптическим методом).

На основании вышеизложенных лабораторных исследований разработана блок-схема (рис. 4) получения синтетического ангидрита сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и известняка (карбоната кальция).

Разложение молотого известняка серной кислотой с кристаллизацией ангидрита сульфата кальция осуществляется [7] при оптимальной температуре (80–100°C) и содержании твердых веществ в пульпе 25–40% и H_2SO_4 в жидкой фазе пульпы 25–50% в течение 1–1,5 ч. Молотый известняк и 60–98% H_2SO_4 дозируют в реактор непрерывно с использованием расходомеров. Пульпа в реакторе интенсивно перемешивается посредством перемешивающих устройств. Поддержание заданной температуры достигается путем воздушного охлаждения пульпы.

Разделение пульпы и водную промывку кека ангидрита сульфата кальция проводят на наливном вакуум-фильтре непрерывного действия, выполненном в коррозионно-стойком исполнении. Часть растворов серной кислоты рециркулируется в реактор в соответствии с балансом, другая часть – слабый раствор H_2SO_4 передается на нейтрализацию.

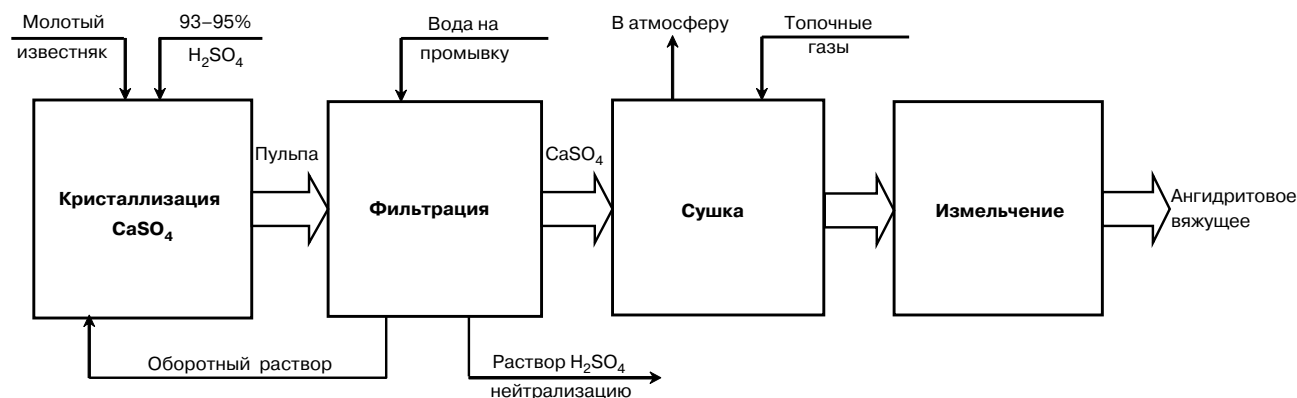


Рис. 4. Блок-схема процесса получения синтетического ангидрита сульфата кальция из концентрированной серной кислоты

Количество подаваемой на нейтрализацию серной кислоты зависит от ряда условий технологического процесса (примесный состав исходного известняка, содержание H_2SO_4 в жидкой фазе пульпы, остаточное содержание серной кислоты в кеке, температура пульпы и др.) и может достигать 30–40% от общего количества серной кислоты, дозируемой в реактор.

Сушка влажного ангидрита сульфата кальция осуществляется топочными газами до удаления гигроскопической воды. Высушенный продукт может быть использован (без измельчения) непосредственно для приготовления закладочных смесей. В случае производства ангидритового вяжущего сухой $CaSO_4$ подвергается дополнительному измельчению.

Найдено, что измельченный в вибромельнице до удельной поверхности 4900–5200 cm^2/g ангидрит с введением при помоле добавок — ускорителей твердения (5% портландцемента и 1% K_2SO_4) характеризовался водопотребностью 34–36% при распыле теста на приборе Суттарда 120 мм (свойства ангидритового вяжущего определялись по ТУ 21-0284757-1-90 «Вяжущие гипсовые и ангидритовые»).

Сроки схватывания ангидритового вяжущего колебались в пределах 75–125 мин начала и 130–240 мин конца схватывания; прочность образцов-балочек размером 40×40×160 мм составляла (МПа) через 7 и 28 сут соответственно при изгибе 4–5,6 и 3,1–3,9, при сжатии 14,9–26 и 21,4–27,7.

Таким образом, в результате приведенных лабораторных исследований разработана принципиально новая технология получения синтетического ангидрита сульфата кальция посредством взаимодействия при повышенной температуре концентрированной серной кислоты с молотым известняком в режиме непрерывного технологического процесса. Полученный ангидрит

после промывки водой, сушки, ввода модифицирующих добавок и измельчения является качественным ангидритовым вяжущим, которое может быть использовано для замены традиционного ангидрита из природного сырья и приготовления закладочных смесей при закладке отработанных пространств шахт.

Ключевые слова: ангидрит сульфата кальция, утилизация серной кислоты, гипсовые вяжущие, закладочные смеси.

Список литературы

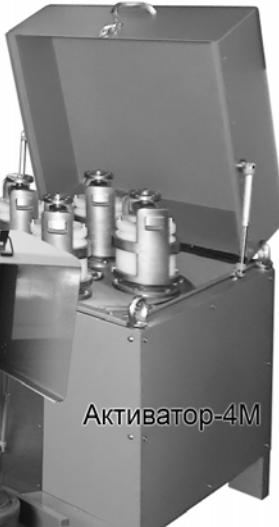
1. Нафталъ М.Н., Илюхин И.В., Шестакова Р.Д., Козлов А.Н. Альтернативные направления утилизации серы из газов металлургического производства // Цветные металлы. 2009. № 8. С. 41–47.
2. Малинин А.М., Хабуров О.Ю., Хуцишвили В.И. Состояние и перспективы закладочных работ Талнахских рудников // Цветные металлы. 2007. № 7. С. 13–15.
3. Здановский А.Б., Власов Г.А., Сотникова Л.И. О дегидратации гипса в растворах серной кислоты // ЖНХ. 1968. Т. 13. Вып. 10. С. 2754–2757.
4. Здановский А.Б., Власов Г.А. Границы равновесных взаимопереходов двуводного гипса в ангидрит и полугидрат в системе $CaSO_4-H_2SO_4-H_3PO_4-H_2O$ // ЖПХ. 1971. Т. 44. № 1. С. 15–20.
5. Матусевич Л.Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности. М.: Химия, 1968. 304 с.
6. Южная Е.В. Кинетика разложения апатита и кальция-кислотами: дисс. канд. хим. наук. М., 1956. 142 с.
7. Гриневич А.В., Киселев А.А., Буриянов А.Ф., Кузнецов Е.М., Мошкова В.Г. Способ получения сульфата кальция. Патент РФ № 2445267. Оpubл. 20.03.2012. Бюл. № 8.



Лабораторные мельницы «Активатор» для заводских и исследовательских лабораторий.



Активатор-2SL



Активатор-4M



Активатор-2S

Мельница	«Активатор-2SL»	«Активатор-2S»	«Активатор-4M»
Количество (объем) барабанов	2 (по 250мл)	2 (по 250мл)	4 (по 1000мл)
Скорость вращения барабанов	0-1500 об/мин	0-2800 об/мин	0-1650 об/мин
Потребляемая мощность	2,2 кВт/ч	2 по 2,2 кВт/ч	18 кВт/ч
Применение	Пробоподготовка	Механохимические исследования	Наработка материала

Кривые распределения частиц по размерам кварцевого песка, Р% помолотого на планетарной шаровой мельнице «Активатор-2SL».



www.aktivator.ru >>

Машиностроительный Завод «Активатор»
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@aktivator.ru

Реклама

Х.А. ХЕЖЕВ, инженер, Ю.В. ПУХАРЕНКО, д-р техн. наук,
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Т.А. ХЕЖЕВ, д-р техн. наук, Кабардино-Балкарский государственный университет (Нальчик)

Фиброгипсобетонные композиты с применением вулканических горных пород

Разработка новых эффективных модифицированных гипсовых материалов является актуальной задачей. Для получения композиционных гипсовых вяжущих используют кремнеземистую добавку, портландцемент, шлакопортландцемент, известь, углеродные нанотрубки и полимерные добавки [1–5]. В работе [6] показано, что в качестве модификатора, улучшающего свойства вяжущих на основе сульфата кальция, возможно использование дисперсной металлургической пыли и комплексной добавки, включающей ультрадисперсный микрокремнезем и многослойные углеродные нанотрубки. Предложены гипсошлаковые композиции из отходов промышленности – гранулированных доменных шлаков, известьсодержащих составляющих и фосфогипса [7]. Для уменьшения расхода гипсового вяжущего и уменьшения деформации изделий при сушке в формовочную массу вводятся органические или неорганические заполнители, которые, как правило, в той или иной степени снижают прочность гипсобетонных изделий.

В связи с увеличением стоимости энергоносителей, удорожанием транспортных расходов актуальной задачей становится разработка новых эффективных гипсобетонных композитов на основе местных материалов и техногенного сырья, отличающихся пониженной себестоимостью и улучшенными физико-механическими характеристиками. Интерес вызывает возможность использования горных пород вулканического происхождения, в первую очередь отходов пиления вулканического туфа, вулканических пеллов и пеплопемзы [8].

Авторами впервые проведены обширные исследования возможности получения эффективных фиброгипсобетонных композитов с улучшенными физико-механическими свойствами с применением отходов пиления вулканического туфа. При этом одновременно решается проблема утилизации техногенного сырья.

Отходы пиления вулканического туфа могут служить в гипсотуфобетонных композитах не только в качестве

заполнителя, но и в качестве активной минеральной добавки: из 60–75% кремнезема, входящего в их состав, 30–35% находится в аморфном состоянии. Для использования скрытой гидравлической активности туфового песка в гипсотуфобетонных композитах применялась негашеная известь. Следует отметить, что и полуводный гипс также является возбудителем скрытой гидравлической активности туфового заполнителя.

Для получения фиброгипсотуфобетонных композитов с улучшенными физико-механическими свойствами и обеспечения уменьшенного удельного расхода гипсового вяжущего проводились исследования, заключающиеся в поэтапном анализе влияния соотношения компонентов, зернового состава туфового песка, параметров фибрового армирования на их свойства и исследовании химического и минералогического состава новообразований.

В исследованиях использованы: гипсовое вяжущее марки Г–4–П–А; воздушная негашеная известь кальциевая порошкообразная; песок из отходов пиления вулканического туфа Заюковского месторождения с максимальной крупностью зерен 5 мм; базальтовое волокно производства ОАО «Ивотстекло» марки РНБ-9-1200-4с.

Изготовление гипсотуфобетонных образцов из сырьевой смеси включает следующие операции: подготовку туфового песка и негашеной извести, приготовление гипсотуфобетонной смеси, формование и сушку гипсовых изделий. Воздушную комовую известь предварительно дробили в щековой дробилке, затем тонко измельчали в шаровой мельнице. Отходы пиления вулканического туфа просеивали через сито № 5 и высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы. Приготовление смеси осуществляли в смесителе принудительного действия, в который после подачи воды загружали предварительно перемешанную сухую смесь гипса, заполнителя, негашеной извести и базальтового волокна, после чего перемешивание всех компонентов

Таблица 1

№ состава	Соотношение компонентов в смеси, мас. %				Показатели свойств гипсобетонного композита				
	Гипс	Туфовый песок	Известь	Вода	Средняя плотность, кг/м³	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут		Предел прочности при изгибе, МПа, в возрасте, сут	
						1	28	1	28
1	67	–	–	33	1232	4,1	10,4	1,9	3,3
2	35	35	–	30	1307	2,1	4,8	0,3	2
3	33	33	4,9	29,1	1340	2,3	9	0,3	2,8
4	31,7	31,7	7,9	28,7	1350	2,9	10,3	0,4	3
5	30,5	30,5	10,6	28,4	1364	2,9	11	0,5	3,3
6	29,3	29,3	13,2	28,2	1371	2,4	9,7	0,4	3,1
7	24,3	48,6	–	27,1	1387	0,6	3,2	0,1	0,7
8	23,1	46,2	3,5	27,2	1381	0,6	4	0,1	1,7
9	22,5	45	5,6	26,9	1391	0,7	6	0,1	1,9
10	21,7	43,4	7,6	27,3	1385	0,6	5,6	0,1	2,4

Таблица 2

№ состава	Соотношение компонентов по массе		Предел прочности, МПа, в возрасте, сут					
	гипс: известь	известь: туфовый песок	3		10		28	
			при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии
1	3:1	0,5	2,2	4,9	2,6	9,3	3,8	12
2	3:1	0,6	2,3	5,1	2,7	10,2	4,1	12,7
3	3:1	0,7	2,4	5,5	3,1	11,4	4,6	13,9
4	3:1	0,8	2,4	5,8	3,7	12,3	5,1	14,7
5	3:1	0,9	2,5	6	3,8	12,5	5,1	14,9
6	3:1	1	2,6	5,8	3,8	12,4	4,8	14,7
7	3:1	1,1	2,7	5,8	3,7	12,3	4,7	14,6
8	3:1	1,2	2,7	5,8	3,7	12,3	4,6	14,6
9	3:1	1,3	2,8	5,8	3,5	12,3	4,6	14,5
10	3:1	1,4	2,8	6	3,5	12,2	4,6	14,5

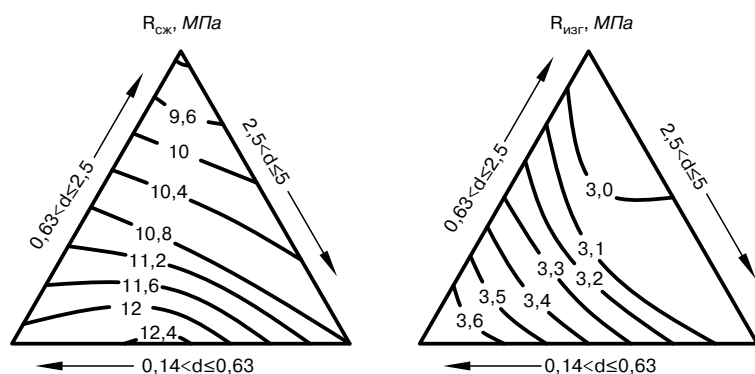


Рис. 1. Диаграмма состояния состав–свойства

продолжали до получения однородной гипсотуфобетонной смеси. Образцы размером 4×4×16 см формовали литьевым способом с последующим твердением в воздушно-сухих условиях. Испытание образцов выполнялось в соответствии с ГОСТ 23789–79 «Вязущие гипсовые. Методы испытаний».

Для оптимизации состава гипсотуфобетонной матрицы исследовалось влияние соотношения компонентов гипса, туфового песка и негашеной извести на их свойства (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что оптимальное соотношение компонентов для изготовления гипсотуфобетонного композита наблюдается у составов № 4 и 5 [9]. Предложенный состав гипсотуфобетонного композита обеспечивает уменьшение удельного расхода гипсового вяжущего на 30,5–31,7% без снижения прочности гипсобетона. Кроме того, гипсотуфобетонный композит имеет повышенную водостойкость, коэффициент размягчения равен 0,65; замедляются сроки схватывания смеси: начало схватывания с 5 до 11 мин, конец схватывания с 8 до 14 мин.

Также исследовалась способность мелкодисперсных фракций туфового песка ($d < 0,14$ мм) вступать в химическое взаимодействие с другими активными компонентами гипсотуфобетонной смеси. По результатам ранее проведенных исследований соотношение гипса и негашеной извести по массе принималось равным 3:1. Выявлено, что при соотношении извести и туфового песка равном 0,9 достигается максимальная прочность при сжатии и изгибе гипсотуфобетонных композитов (табл. 2).

Рентгенофазовое исследование гипсотуфобетонного композита оптимального состава № 5 на дифрактометре

ДИФРЕЙ-401 показало, что в затвердевшем материале образуются гидросиликаты тоберморитовой группы типа $4\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и $(\text{Ca}, \text{K}, \text{NaH}_3\text{O})(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, а также железистый волластонит $((\text{Ca}, \text{Fe})\text{SiO}_3)$ и аллофан $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$.

Для определения влияния более крупных фракций заполнителя с $0,14 < d < 5$ мм на прочностные характеристики гипсотуфобетонного композита на втором этапе был реализован симплексно-центральный план эксперимента. На основе ранее проведенных исследований соотношение составляющих гипсотуфобетонного композита по массе в весовых частях принималось: гипс – 3; известь – 1; туфовый песок диаметром зерен $0,00 < d < 0,14$ мм – 1,1; туфовый песок диаметром зерен $0,14 < d < 5$ мм – 1,9.

Переменными при проведении эксперимента являлись: X_1 – содержание в заполнителе зерен диаметром $0,14 < d < 0,63$ мм; X_2 – содержание в заполнителе зерен диаметром $0,63 < d < 2,5$ мм; X_3 – содержание в заполнителе зерен диаметром $2,5 < d < 5$ мм.

Параметры оптимизации: Y_1 – предел прочности при сжатии, МПа; Y_2 – предел прочности при изгибе, МПа.

Диаграммы состояния «состав – свойства», построенные по полученным уравнениям регрессии, показали, что максимальная прочность образцов при сжатии наблюдается при оптимальном сочетании в смеси мелких и крупных фракций, обеспечивающих образование плотной структуры гипсотуфобетонного композита (рис. 1). Прочность при изгибе максимальна при содержании в смеси более мелких фракций туфового песка, что объясняется их частичным участием в процессе гидратации. Вместе с тем необходимость отсева песка подразумевает установку дополнительного оборудования, что ведет к удорожанию производства, которое можно оправдать только значительным улучшением прочностных характеристик гипсотуфобетонного композита, чего можно добиться, например, дисперсным армированием.

Для определения экономической эффективности разработанных гипсотуфобетонных композитов выполнено сравнение цены перегородок (1 м^2) с гипсовыми материалами, так как технологический процесс производства перегородочных плит остается практически неизменным. Стоимость материалов определялась по отпускной цене заводов-изготовителей (гипс – 2,1 р./кг; мука известняковая молотая – 2,4 р./кг), туфовый песок – по отпускной цене карьера камнепиления – 0,11 р./кг).

Таблица 3

Вид бетона	Средняя плотность, кг/м ³	Расход материала, кг			Стоимость материала, р.			Стоимость 1 м ²
		гипс	известь	туфовый песок	гипс	известь	туфовый песок	
Гипсобетон (эталон)	1232	82	–	–	172,2	–	–	172,2
Гипсотуфобетонный композит	1340	41,6	13,8	41,6	87,3	33,1	4,6	125

Таблица 4

№ состава	Соотношение компонентов в смеси, мас. %				Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности, МПа	
	гипс	вермикулит	туфовый песок	известь		при сжатии	при изгибе
1	2	3	4	5	6	7	8
1	71,9	28,1	–	–	750	1,6	1,1
2	41,3	29,8	15,2	13,7	760	1,55	1,1
3	62,1	37,9	–	–	560	0,8	0,55
4	35,8	39,1	13,2	11,9	570	0,75	0,5

С использованием результатов экспериментальных исследований определялся расход и стоимость материалов на 1 м² перегородок при толщине 80 мм (табл. 3).

Экономический эффект от применения разработанных гипсотуфобетонных композитов по стоимости материалов на 1 м² площади перегородок составляет 47,2 р. по сравнению с гипсовыми.

Для расширения области применения и получения гипсобетонных композитов с улучшенными прочностными и другими характеристиками на основе анализа существующих видов неметаллических волокон и предъявляемых к ним требований для дисперсного армирования выбраны базальтовые волокна. Для исследования влияния параметров дисперсного армирования на свойства фиброгипсотуфобетонного композита был поставлен эксперимент с ротатбельным планом второго порядка типа правильного шестиугольника.

В качестве исследуемых факторов были приняты основные параметры дисперсного армирования: X_1 – процент армирования по объему μ_v , %; X_2 – отношение длины волокон к их диаметру l/d .

В качестве параметров оптимизации рассматривались: Y_1 – предел прочности при сжатии, МПа; Y_2 – предел прочности при изгибе, МПа.

Анализ полученных уравнений регрессии и построенных по ним поверхностей отклика показал, что наибольшие значения параметров оптимизации наблюдаются с $\mu = 1,15$ – $1,2$ и $l/d = 1444$. Предел прочности при сжатии фиброгипсотуфобетонного композита увеличивается в 1,42 раза, при изгибе – в 1,82 раза по отношению к прочности исходной матрицы. Дальнейшее увеличение количества армирования приводит к снижению прочности, что объясняется ухудшением структуры композита. Фиброгипсотуфобетонные композиты имеют более высокую водостойкость по сравнению с исходной гипсотуфобетонной матрицей. Коэффициент размягчения равен 0,7.

Другим направлением исследований стала разработка эффективных гипсобетонных огнезащитных композитов с применением отходов камнепиления вулканического туфа. Известно [10], что эффективными средствами огнезащиты строительных конструкций являются плиты и штукатурки на основе минеральных вяжущих и вспученного вермикулита. Для разработки огнезащитных вермикулитобетонов в качестве заполнителей применялись отходы пиления вулканического туфа фракции 0–0,14 мм, вспученный вермикулит Санкт-Петербургской слюдяной фабрики фракции 0,16–5 мм с насыпной плотностью 150 кг/м³.

Характеристики разработанных эффективных огнезащитных гипсовермикулитотуфобетонных композитов приведены в табл. 4 [11].

Из табл. 5 следует, что предлагаемые составы при одинаковой плотности и прочности при сжатии и изгибе огнезащитных композитов позволяют существенно сократить расход гипса. Использование негашеной извести в качестве возбудителя скрытой гидравлической активности туфового песка позволяет уменьшить расход гипса на 26,3–30,6% без снижения прочности огнезащитного бетона. Кроме того, замедляются сроки схватывания и повышается коэффициент водостойкости гипсовермикулитотуфобетонных композитов.

С целью снижения средней плотности гипсовермикулитотуфобетонных композитов, улучшения удобоукладываемости и повышения огнезащитных свойств было исследовано влияние воздухововлекающей добавки СДО. Выявлено, что при содержании добавки СДО 0,15–0,2% от массы вяжущего расход воды для смеси существенно уменьшается, средняя плотность бетонного композита снижается на 30–40 кг/м³. При этом пределы прочности при сжатии и при изгибе композита с добавкой и без нее на 28 сут остаются практически неизменными.

Для исследования огнезащитных свойств предлагаемых составов изготавливали армоцементные плиты толщиной 20 мм с огнезащитным слоем толщиной 15 и 25 мм. Исследования огнезащитных свойств гипсовермикулитобетонных композитов проводили испытанием на огнестойкость образцов размерами 190×190 мм на электрической печи в горизонтальном положении по температурному режиму стандартного пожара, регламентированному ГОСТ 30247.1–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции». Предел огнестойкости по несущей способности (R) армоцементных плит оценивали по прогреву тканой сетки в конструктивном слое (на границе слоев) до 300°C. Влажность мелкозернистого бетона армоцементного слоя и огнезащитного состава к моменту испытаний составляла соответственно 3–4 и 8–10%.

Результаты испытаний на огнестойкость армоцементных плит с гипсовермикулитобетонным огнезащитным слоем представлены на рис. 2. Во время испытаний двухслойных элементов на огнестойкость нарушений их целостности не обнаружено.

Из рис. 2 следует, что разработанные гипсовермикулитотуфобетонные композиты обеспечивают более высокие пределы огнестойкости армоцементных плит по

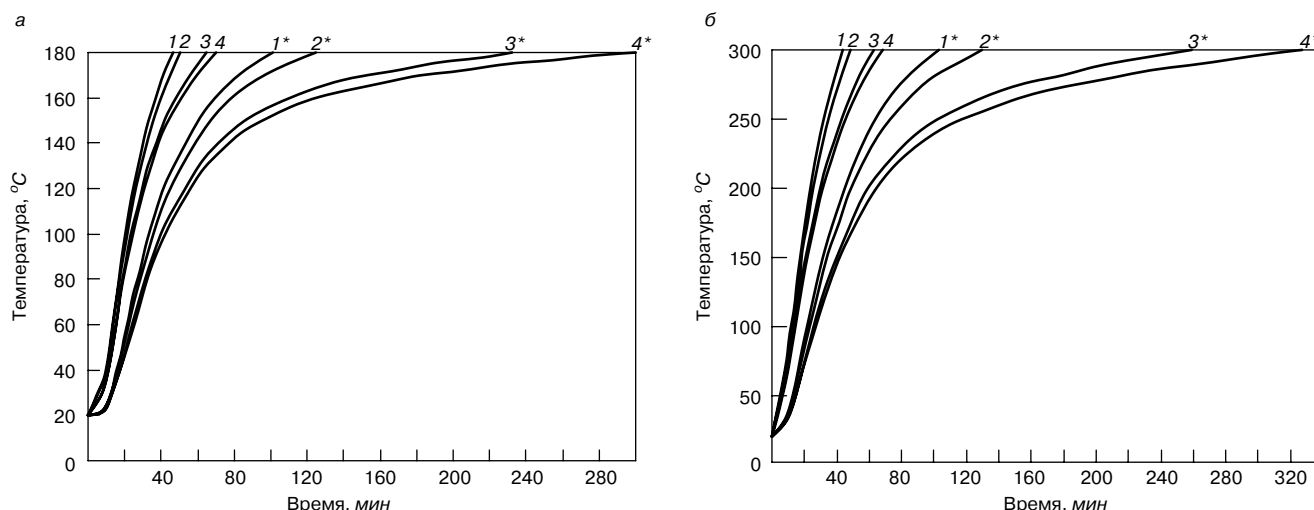


Рис. 2. Экспериментальные кривые изменения температуры на необогреваемой поверхности (а) и на уровне тканой сетки (б) двухслойных армоцементных образцов: 1, 3 – гипсовермикулитобетонные композиты со средней плотностью 750 и 560 кг/м³ соответственно, толщиной слоя 15 мм; 1*, 2* – то же, толщиной 25 мм; 2, 4 – гипсовермикулитотуфобетонные композиты средней плотностью 720 и 540 кг/м³ соответственно, толщиной слоя 15 мм; 2*, 4* – то же, толщиной 25 мм

сравнению с гипсовермикулитобетонными. Это объясняется образованием гидросиликатов тоберморитовой группы, железистого волластонита и аллофана, обладающих более высокой жаростойкостью по сравнению с двухфазным гипсом. Кроме того, добавка СДО дополнительно поризует гипсовермикулитотуфобетонный композит, что способствует повышению огнезащитных свойств. Наиболее высокими огнезащитными свойствами обладают составы со средней плотностью 540 кг/м³.

Для улучшения характеристик гипсовермикулитотуфобетонного композита со средней плотностью 540 кг/м³ исследовано влияние параметров армирования базальтовыми волокнами на конечные свойства с использованием ротационного плана второго порядка типа правильного шестигольника. Исследуемые факторы и параметры оптимизации те же, что и для фиброгипсотуфобетонных композитов.

Получены уравнения регрессии в кодированном виде:

$$Y_1 = 1 + 0,09X_1 + 0,014X_2 - 0,2X_1^2 - 0,21X_2^2 + 0,03X_1X_2;$$

$$Y_2 = 1,1 + 0,083X_1 - 0,075X_1^2 - 0,275X_2^2 + 0,058X_1X_2.$$

Анализ полученных уравнений и поверхностей отклика показал, что наибольшие значения прочности при сжатии ($R_{сж} = 1,1$ МПа) наблюдаются в области плана с $\mu \approx 0,45\%$ и $l/d = 1444$, а прочности при изгибе ($R_{изг} = 0,6$ МПа) – $\mu \approx 0,75\%$ и $l/d = 1444$. Армирование базальтовыми волокнами гипсовермикулитотуфобетонной матрицы незначительно повышает огнезащитные свойства, что обеспечивается лучшей сохранностью структуры композита при высокой температуре.

Экономический эффект от применения разработанных огнезащитных гипсовермикулитотуфобетонных композитов по стоимости материалов на 1 м² огнезащиты толщиной 20–25 мм составляет 35–40 р. по сравнению с гипсовермикулитобетонными за счет уменьшения расхода гипса и повышения огнезащитных свойств.

Таким образом, разработаны эффективные фиброгипсотуфобетонные и фиброгипсовермикулитотуфобетонные композиты с улучшенными физико-механическими свойствами, позволяющие уменьшить расход гипсового вяжущего и решить вопросы утилизации отходов камнепиления вулканического туфа.

Ключевые слова: гипс, туфовый песок, негашеная известь, вспученный вермикулит, базальтовое волокно, фиброгипсобетонный композит.

Список литературы

1. Гордина А.Ф., Токарев Ю.В., Яковлев Г.И., Керене Я., Спудулс Э. Различия в формировании структуры гипсового вяжущего, модифицированного углеродными нанотрубками и известью // Строительные материалы. 2013. № 2. С. 34–37.
2. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Полеонова Ю.Ю., Бурьянов А.Ф. Модифицированные гипсовые безобжиговые композиты // Строительные материалы. 2013. № 5. С. 76–79.
3. Строчкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Войтович Е.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем // Строительные материалы. 2012. № 7. С. 9–11.
4. Потапова Е.Н., Исаева И.В. Повышение водостойкости гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2012. № 7. С. 20–22.
5. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Композиционные гипсовые вяжущие с использованием керамзитовой пыли и доменных шлаков // Строительные материалы. 2012. № 7. С. 13–16.
6. Хазеев Д.Р., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Маева И.С., Бурьянов А.Ф. Влияние техногенных дисперсных отходов на структуру и свойства композитов на основе сульфата кальция // Строительные материалы. 2011. № 6. С. 6–7.
7. Мирсаев Р.Н., Ахмадулина И.И., Бабков В.В., Недосенко И.В., Гаитова А.Р., Кузьмин В.В. Гипсошлаковые композиции из отходов промышленности в строительных технологиях // Строительные материалы. 2010. № 7. С. 4–7.
8. Ахматов М.А. Применение отходов камнепиления туфкарьеров и рыхлых пористых пород в качестве заполнителей легких бетонов и конструкций из них. Нальчик: М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. КБГУ, 1981. 128 с.
9. Хезев Т.А., Хезев Х.А. Сырьевая смесь для изготовления гипсобетона. Патент РФ № 2330823 // Опул. 20.03.2008. Б.И. № 22.
10. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования // Строительные материалы. 2002. № 6. С. 2–5.
11. Хезев Т.А., Хезев Х.А. Сырьевая смесь для изготовления огнезащитного покрытия. Патент РФ № 2385851 // Опул. 10.04.2010. Б.И. № 10.

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



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

Реклама

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

ПМ-1МГ4 / ПМ-2МГ4 / ПМ-3МГ4 / ПМ-5МГ4 / ПМ-10МГ4

с ручным / электрическим приводом для испытания утеплителей на изгиб и сжатие при 10% линейной деформации

■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН
■ масса 20 / 25 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



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 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 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



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

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



Высокопрочные гипсовые вяжущие — лучшая основа для производства современных сухих строительных смесей

Производство сухих строительных смесей различных товарных групп в России показывает положительную тенденцию. Рассматривая динамику производства ССС на гипсовой основе, можно отметить прирост выпуска штукатурок в 2012 г. по сравнению с 2011 г. на 15%, шпатлевок — на 18%, монтажного клея — на 7%, ровнителей для пола — на 25%*, что свидетельствует об их популярности.

С целью удовлетворения постоянно растущих потребностей клиентов производители ССС постоянно улучшают потребительские свойства продуктов за счет выбора гипсовых вяжущих, наполнителей, функциональных добавок. В качестве вяжущего в гипсовых смесях применяют строительный или высокопрочный гипс на основе β - и α -полугидрата сульфата кальция. Чем обусловлен выбор?

Применение в рецептуре сухих строительных смесей высокопрочного гипса позволяет придать продуктам высокую прочность и адгезию, обеспечить отсутствие усадки и растрескивания.

Наливной пол на основе высокопрочного гипса обладает прочностью до 25 МПа, т. е. в 2,5 раза выше, чем на строительном гипсе. В силу особой гидротермальной обработки гипсового камня наливной пол с высокопрочным гипсом отличается лучшей текучестью — до 50%. Процент ввода гипсового вяжущего для α - и β -гипсов существенно отличается: для производства пола на основе высокопрочного гипса вяжущее и наполнитель смешивают в пропорции 30/70, для строительного гипса соотношение составляет 80/20. Поскольку в рецептуру смеси на β -гипсе требуется содержание гораздо большего количества пластификаторов, обеспечивающих растекаемость, итоговая себестоимость смеси на «дешевом» строительном гипсе получится существенно выше.

Сочетание высокопрочного и строительного гипсов в рецептуре **штукатурок** позволяет повысить пластичность смеси при ее применении. Прочность таких штукатурок составляет до 10 МПа, что позволяет ввести в рецептуру большее количество легких наполнителей. Преимущество использования высокопрочного гипсового вяжущего при производстве штукатурок очевидно, так как уменьшается расход смеси до 25% на 1 м². При гляцевании штукатурного слоя выделяется больше гипсового молочка, нежели у штукатурки, произведенной исключительно на β -гипсе.

Применений α -гипса в производстве **шпатлевок** обусловлено высокой белизной вяжущего и тониной помола. Гарантированная тонина помола составляет не более 1% на сите 0,2 мм за счет специальной сепарации гипса в процессе производства. Шпатлевка на тонкомолотом гипсе наносится гладким слоем, без полос, что сокращает затраты на повторное выравнивание. В частности, применение высокопрочного гипса в шпатлевке для заделки стыков ГКЛ позволяет достичь высокой прочности при изгибе — не менее 6 МПа, при сжатии не менее 15 МПа, что в результате позволяет избежать применения армирующих сеток.

Монтажный клей на основе α -гипса обладает высокой прочностью, что обеспечивает дополнительное армирование получившейся конструкции. Благодаря тонкой дисперсности существует возможность производить шпатлевание стыков тем же монтажным клеем.

Высокопрочные гипсовые вяжущие (ГВВС) экологичны, безвредны для человека, регулируют уровень влажности и создают комфортный микроклимат в помещении, при строительстве которого использованы элементы на основе гипса.

ЗАО «Самарский гипсовый комбинат» — лидер российского рынка высокопрочных сепарированных гипсовых вяжущих (α -гипсы). Ключевые продукты в ассортиментной линейке СГК — ГВВС-16 и ГВВС-13. Комбинат является предприятием непрерывного цикла, что позволяет всегда иметь в наличии наиболее востребованные позиции, а также оперативно и бесперебойно осуществлять поставки продукции.



Начните использовать преимущества высокопрочных гипсовых вяжущих уже сегодня!
Тел. (846) 955-14-22 www.samaragips.ru

* По материалам «Обзор производства сухих строительных смесей в России. 2008–2012 гг.» маркетинговой компании «Строительная информация».

М.И. КУЗЬМЕНКОВ, д-р техн. наук, Белорусский государственный технологический университет (г. Минск); С.И. МАСЮК, директор, А.М. ГРЕЧНЫЙ, главный инженер, А.М. КОЗЕЛ, главный технолог ОАО «Домановский ПТК» (Брестская обл., Республика Беларусь)

Промышленная технология гидратированных силикатных порошков из жидких стекол

Жидкие стекла являются представителями обширного класса водорастворимых силикатов щелочных металлов, выпускаемых промышленностью. В работах [1, 2] приводится их классификация по степени полимеризации (числу атомов кремния, образующих систему силоксановых связей — $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$ —), химическому составу, виду катиона и, наконец, по содержанию воды. По последнему признаку различают: высоководные системы (легкоподвижные жидкости), низководные системы (пасты) и порошки.

Наибольшее распространение получили жидкие стекла в виде легкоподвижных жидкостей. Это связано со способностью жидких стекол проявлять вяжущие свойства, т. е. самопроизвольно отвердевать с образованием искусственного камня.

Благодаря своим высоким адгезивным свойствам к материалам самой различной природы жидкие стекла с успехом применяются для склеивания, например бумаги, картона, получения композиционных материалов, в том числе жаростойких бетонов.

Вторым направлением применения жидких стекол является синтез различных кремнеземсодержащих веществ — белой сажи, силикагеля, цеолитов, носителей катализаторов и др.

Третье направление применения состоит во введении их в состав синтетических моющих средств (СМС), для отбеливания тканей, проклейки бумаги и др. И хотя области применения жидкого стекла неизменно расширяются, в последнее время некоторые потребители из-за высокого содержания в нем воды (примерно 50%) испытывают существенные затруднения при его использовании. Так, например, в холодный период времени применение жидкого стекла в качестве флотореагента при обогащении апатитовых руд (Кольский полуостров) требует его разогрева в тепляках. Аналогичные проблемы испытывают нефтяники при введении жидкого стекла в состав буровых растворов. Из-за высокого содержания воды в жидком стекле ограничивается его концентрация в синтетических моющих средствах.

Вышеобозначенные причины вызвали необходимость создания технологических процессов получения из жидкого стекла порошкообразных продуктов, с тем чтобы иметь не только большие удобства и экономическую выгоду при их транспортировке и неограниченном сроке хранения, но и возможность приготовления жидкого стекла оптимальной концентрации по месту их использования.

Гидратированный силикатный порошок (ГСП) начали производить в первую очередь для СМС. Характерной особенностью таких порошков является их малая объемная масса, что привлекательно для создания объемного эффекта упаковок СМС.

Однако остальные потенциальные потребители ГСП, а их большинство, нуждаются в порошкообразном продукте с большей насыпной плотностью.

Анализ литературных и патентных источников [1] показал, что наиболее эффективным способом получения ГСП является частичное термическое обезвоживание жидкого стекла. Получаются легкорастворимые порошки

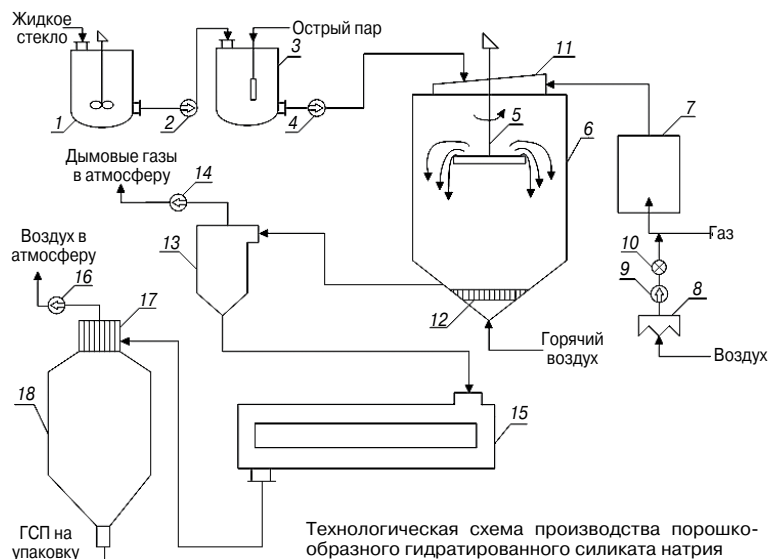
высокомодульных щелочных силикатов при определенных температурно-временных условиях, когда возникновение силоксановых связей маловероятно. При температуре ниже 80°C удаление воды приводит к образованию стекловидной структуры, состоящей из частиц коллоидного кремнезема и прослойки частично обезвоженного раствора. Распределение воды между коллоидными частицами и прослойками раствора неравномерное. Прослойки гораздо более обводнены, чем коллоидные частицы, поэтому при растворении переходят в жидкую фазу легко, а коллоидные частицы не претерпевают существенных изменений в процессе образования порошка и его последующего растворения. Это означает, что при низкотемпературной сушке в токе теплоносителя полимерный состав раствора изменяется мало, вновь образующийся при растворении порошка раствор примерно воспроизводит исходный, и поэтому порошки аморфны.

Для реализации этого процесса существует несколько технических решений. Так, предложено проводить измельчение силикат-глыбы при 60–90°C в водной среде или водяном паре и оксигенированного продукта, взятого в количестве 0,01–0,35% от массы силикат-глыбы (пат. 2134246 РФ. Способ получения гидратированных щелочных силикатов). Полученную суспензию сушат в сушилке кипящего слоя при 40–100°C до остаточного содержания воды в получаемом порошке в пределах 15–25%. К числу недостатков этого способа следует отнести сложность аппаратного оформления и большую энергоемкость процесса.

Также существует способ получения гидратированных силикатных порошков методом СВЧ сушки (пат. 2134245 РФ. Способ получения гидратированных силикатных порошков методом СВЧ сушки). Он заключается в появлении в высушиваемом материале объемных источников тепла, создаваемых за счет поглощения энергии волновых полей, воздействующих на материал. Температуру сушки рекомендуется поддерживать в пределах 70–105°C с выдержкой в течение 6–25 мин. Периодичность этого способа, а также его недостаточная изученность создают серьезные препятствия на пути промышленной реализации процесса.

Наряду с вышеизложенными существует технологический процесс (А.с. СССР 1680625. Способ получения порошков гидратированных щелочных силикатов), включающий приготовление гранулята силиката натрия или калия, растворение его в автоклаве, обезвоживание полученного жидкого стекла при 40–110°C до остаточного содержания гидратной воды в порошке на уровне 15–25 мас. %. Обезвоживание предлагается проводить в сушилке взвешенного слоя в среде инертного теплоносителя. Однако этот процесс, так же как и предыдущее, до сих пор не был реализован в промышленном масштабе.

Исходя из представленного в данной работе делается ставка на термическую дегидратацию жидкого стекла в распылительной сушилке (патент РФ 8392. Способ получения порошков гидратированных силикатов натрия или калия). Отработка технологических параметров сушки жидкого стекла в прямоточной распылительной сушилке проводилась в ГНУ Институте тепло- и массо-



Технологическая схема производства порошкообразного гидратированного силиката натрия

Наименование показателя	Значение показателя	
	по ТУ ВУ 200101299.003–2009 «Силикат натрия гидратированный порошкообразный»	фактически
Внешний вид	Белый порошок	
SiO ₂ , мас. %	50,4–60,6	58,7
Na ₂ O (K ₂ O), мас. %	21,4–33,6	21,2
Силикатный модуль	1,5–2,8	2,86
H ₂ O, мас. %	15–20	5,6
Размер частиц, мм	0,06–1	0,1–1
Насыпная плотность, г/см ³	0,4–1,7	0,7
Время растворения (массовое соотношение порошок–вода 1:3 при температуре 20°C), мин	1–20	6

обмена НАН Беларуси*. Для исследования использовали жидкое натриевое стекло с модулем 2,6–3 и плотностью 1,5 г/см³. В качестве теплоносителя использовался калориферный воздух, нагрев которого проводился в теплогенераторе, а подача сверху вниз. Жидкое стекло подавалось с помощью пневматической вихревой форсунки как прямоточно, так и в режиме фонтанирующего потока. Варьируя температуру теплоносителя на входе и выходе из сушилки в пределах 200–250°C, плотностью жидкого стекла, а также давлением сжатого воздуха в диапазоне 2–3 атм, были получены экспериментальные партии натриевого и калиевого ГСП. Изучение их свойств показало, что важнейший показатель ГСП – время их полного растворения находится в пределах 5–20 мин, а плотность 700–715 кг/м³.

Полученные положительные результаты были использованы при разработке исходных данных на проектирование промышленной технологической линии по производству ГСП. Объявленный тендер на поставку оборудования выиграла словацкая фирма Lukro, а проектирование осуществила энергетическая инженерно-консалтинговая компания «Энека» (г. Минск).

В феврале 2011 г. цех по производству ГСП годовой мощностью 1,65 тыс. т принят в эксплуатацию (см. рисунок).

Функционирование технологического оборудования осуществляется следующим образом. Жидкое стекло из емкости для хранения и очистки 1 по трубопроводу насосом 2 подается в расходомер 3 с паровым подог

гревателем и системой циркуляции для предотвращения его расслоения. Из расходомера жидкое стекло с температурой 70–90°C насосом 4 направляется по трубопроводу в дисковый распылитель 5, расположенный в верхней части сушилки 6. Частота вращения дискового распылителя составляет около 14000 об/с.

Распылительная сушилка состоит из верхней цилиндрической части диаметром 5800 мм и высотой 4500 мм и нижней конической высотой 3100 мм. Корпус сушилки выполнен из нержавеющей стали, снаружи теплоизолирован минераловатными плитами, которые обшиты жестью.

В качестве теплоносителя служат дымовые газы, получаемые при сжигании природного газа в теплогенераторе 7, для чего туда подается очищенный воздух в фильтре 8 с помощью нагнетательного вентилятора 9. Режим сжигания газа и подача дымовых газов регулируются заслонкой 10 и числом оборотов вентилятора. Теплоноситель с температурой 180–220°C подается в сушилку через распределительную спираль 11 для обеспечения равномерного его распределения по сечению сушилки. В сушилке поддерживается разрежение в пределах 100–150 МПа. Из капель жидкого стекла удаляется большая часть воды, а остаточное ее количество становится структурно связанной. Подсушенный порошок, содержащий до 20% воды, падает на перфорированное днище 12 в конической части сушилки, где формируется флюидальное истечение нагретого до 35°C воздуха, вследствие чего обеспечивается эффективная досушка порошка. В конструкции сушилки предусмотрено устройство, состоящее из 16 пневмопушек и обеспечивающее с помощью сжатого воздуха удаление прилипавшего порошка со стенок.

Отделение высушенного порошка от теплоносителя, имеющего на выходе из сушилки температуру не выше 120°C, производится в циклоне 13, в котором предусмотрен обдув сжатым воздухом его конической части с целью предотвращения нагнетания материала на стенках. Очищенный теплоноситель выбрасывается вытяжным вентилятором 14 в атмосферу. Уловленный порошок поступает в охладитель 15, в котором поддерживается разрежение в пределах 500–900 МПа, создаваемое вентилятором 16, установленным за фильтром 17 на бункере готового продукта 18. За счет подачи холодного воздуха целевой продукт доохлаждается, а затем пневмотранспортом подается в бункер готового продукта.

Управление технологическим режимом осуществляется в автоматическом режиме, а при пуске и в случае необходимости – в ручном.

Проведенные пусконаладочные работы показали, что ГСП могут быть получены требуемого для разных потребителей качества (см. таблицу).

Ключевые слова: жидкое стекло, гидратированный силикатный порошок, распылительная сушилка.

Список литературы

1. Корнеев В.И., Данилов В.В. Жидкое и растворимое стекло. СПб.: Стройиздат СПб, 1996. 216 с.
2. Брыков А.С. Химия силикатных и кремнеземсодержащих вяжущих материалов. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011. 147 с.

* В работе принимали участие П.В. Акулич, д-р техн. наук; В.В. Заранский, мл. научн. сотрудник.

SibBuild

место проведения «Новосибирск Экспоцентр»

28–31
января
2014



10–13
февраля
2014

Неделя архитектуры и строительства

-  Оконные технологии
-  Строительные материалы и оборудование. Строительство
-  Натуральный и искусственный камень
-  Инструменты и крепёж
-  Кровли и фасады

Неделя отделочных материалов и интерьерных решений

-  Отделочные материалы
-  Двери и замки
-  Краски. Сухие строительные смеси
-  Керамика. Сантехника
-  Декоративный свет. Электрика
-  Ткани в интерьере

www.SibBuild.ru

 ufi



ITE Сибирская Ярмарка
ул. Станционная, 104
тел.: +7 (383) 363 00 63
sibbuild@sibfair.ru
www.sibfair.ru

Генеральный
информационный спонсор



Генеральный
информационный
партнер



Генеральный
интернет-партнер





Министерство регионального развития РФ
Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН)
Российский союз строителей
Центральный научно-исследовательский и проектный институт
жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища)
Объединенная редакция научно-технических журналов
«Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®



IV Международная научно-практическая конференция «Развитие крупнопанельного домостроения в России»

InterConPan-IV

International Conference of Large-panel Construction

24–25 июня 2014 г.

Санкт-Петербург



Тематика конференции:

- Состояние базы крупнопанельного домостроения в РФ
- Опыт модернизации предприятий КПД
- Оборудование и технологии
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Проблемы тепловлажностной обработки изделий и конструкций
- Архитектурно-планировочные решения крупнопанельных домов
- Качество и энергоэффективность полносборных зданий
- Расчет и конструирование узлов сборных элементов
- Применение архитектурного бетона
- Проблемы армирования ЖБК и КПД
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

Программа конференции включает:

Пленарное заседание

Секции:

- «Архитектура и особенности проектных решений крупнопанельных зданий»
- «Гибкая технология предприятий ДСК и КПД»

Посещение

- Домостроительный комбинат «Группы ЛСР» (ЗАО «ДСК «Блок»)
- Строящийся жилой комплекс в Санкт-Петербурге

Спонсоры
конференции:



Партнеры
конференции:



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов «Жилищное строительство» №5–2014 г. и «Строительные материалы»® №5–2014 г., в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 15.04.2014

Организационный комитет:

Телефон/факс: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08

E-mail: kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3
редакция журнала «Жилищное строительство»



**МТХ АНОВЕР
ТЕХНИКА**



100-летний

опыт разработки
и производства
горно-обогатительного
оборудования

ПРОГРАММА ПОСТАВКИ

- **Установки
для производства
кубовидного щебня**
 - из гранитных пород
 - из гравийно-песчаных
смесей
- **Дробильно-сортиро-
вочное оборудование**
- **Установки
для переработки
строительных отходов**
- **Технологии
утилизации отсеков
производства щебня**

199106, Россия, Санкт-Петербург, 22 линия, 3
Факсы: (812) 327 75 15, (812) 325 62 02
Тел: (812) 331 02 42, 331 02 57
E-mail: sales@npk-mt.spb.ru, www.mtspb.com

УДК 622.735.095:622.73

Л.А. ВАЙСБЕРГ, д-р техн. наук, член-корр. РАН, научный руководитель, председатель совета директоров НПК «Механообр-Техника» (Санкт-Петербург);
Е.Е. КАМЕНЕВА, канд. техн. наук, руководитель Испытательного центра строительных горных пород, В.Н. АМИНОВ, д-р техн. наук, Петрозаводский государственный университет (Республика Карелия)

Оценка технологических возможностей управления качеством щебня при дезинтеграции строительных горных пород

По данным Росстата, в России ежегодный объем производства щебня из изверженных горных пород составляет более 200 млн м³, из них около 70 млн м³ используется в дорожном строительстве, 25 млн м³ — для баллаستирования железнодорожных путей, остальное — в гражданском и промышленном строительстве в качестве заполнителя бетонов, а также для различного рода отсыпок и планировочных работ.

Особенностью современного рынка щебня являются постоянный рост цен и возрастающие требования к его качеству. Отпускная цена на щебень, в зависимости от его зернового состава, формы зерен, прочности, истираемости, морозостойкости, содержания естественных радионуклидов и других характеристик, составляет в среднем 500–600 р./т, а с учетом транспортных расходов его стоимость для потребителя повышается до 1000–1500 р./т.

В связи с увеличением скорости и интенсивности движения автомобильного транспорта, развитием сети высокоскоростных железных дорог и совершенствованием

технологий промышленного и гражданского строительства требования к качеству щебня постоянно возрастают. Существует класс объектов, где требуется использование только прочного и высокопрочного щебня с содержанием зерен пластинчатой и игловатой форм не более 15%. К числу таких объектов относятся верхние слои железнодорожных насыпей и асфальтобетонные покрытия скоростных автомобильных дорог.

От качества щебня зависят потребительские свойства и долговечность автомобильных дорог. Наиболее жесткие требования предъявляются к щебню узких фракций: 5–10 мм, 10–15 мм, 15–20 мм, 5–15 мм, 5–20 мм, используемых в качестве минерального заполнителя асфальтобетонов и непосредственно воспринимающих высокие механические нагрузки от движущегося транспорта, многократное замораживание и оттаивание, воздействие антигололедных химических средств.

В этой связи актуальность приобретает задача совершенствования технологии производства щебня с целью обеспечения требуемых показателей качества. Решение этой задачи возможно на основе исследования взаимосвязи физико-механических свойств горных пород и полученного из них щебня с целью повышения точности прогноза качественных показателей конечной товарной продукции уже на стадии геолого-разведочных работ, проектирования технологии дробления и управления качеством выпускаемой продукции. От правильного решения этих вопросов зависит эффективность практических рекомендаций по выбору и оптимизации технологических схем дробления, достоверность и обоснованность оценки горных пород на стадии геологического изучения месторождений.

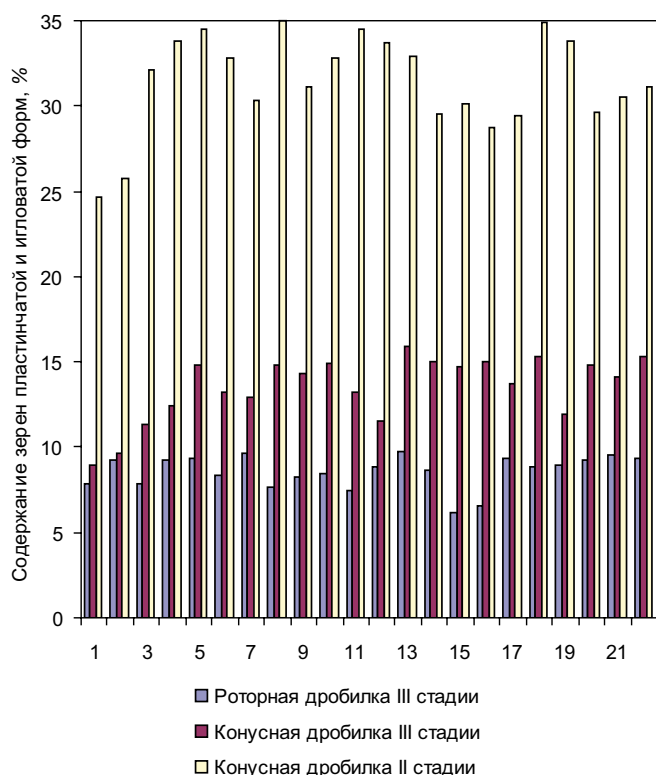


Рис. 1. Среднесменные колебания содержания зерен пластинчатой и игловатой форм в промышленно выпускаемом щебне фракции 5–20 мм из габбро-диабазы

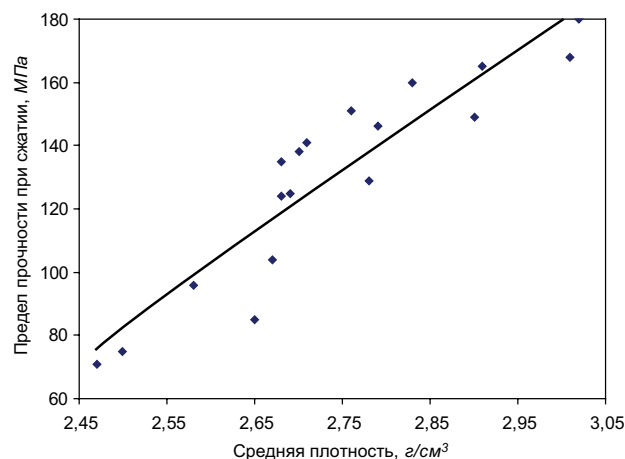


Рис. 2. Зависимость прочности от средней плотности горных пород

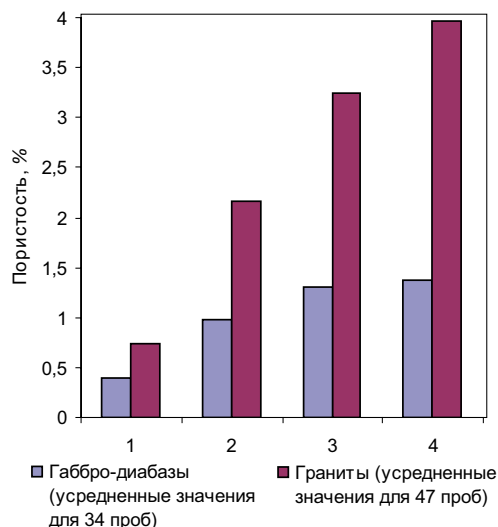


Рис. 3. Пористость исходной горной породы (1) и щебня по фракциям 20–40 мм (2), 10–20 мм (3), 5–10 мм (4)

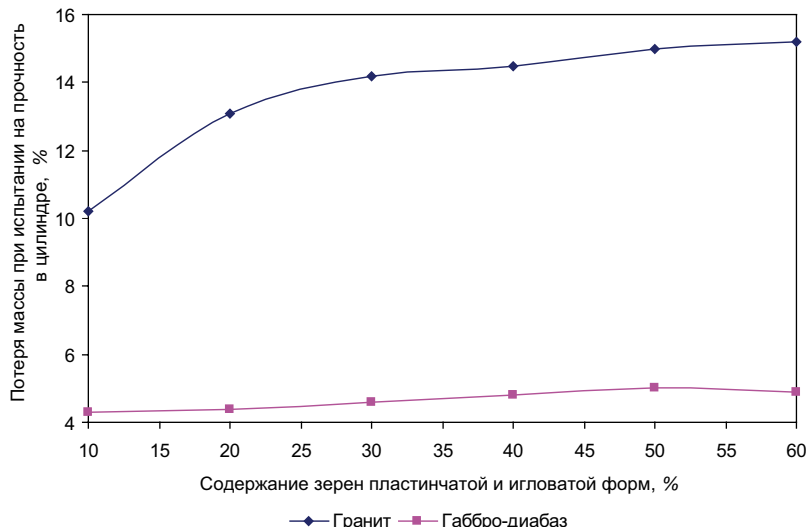


Рис. 4. Зависимость потери массы при испытании на прочность в цилиндре от содержания зерен пластинчатой и игольчатой форм щебня (фракция 10–20 мм, результаты лабораторных опытов)

В настоящей работе обобщены результаты исследований физико-механических свойств основных типов строительных горных пород месторождений Карелии — магматических (габбро, габбро-диабазов, плагиоклазовых, микроклиновых и микроклин-плагиоклазовых гранитов) и метаморфизованных (гнейсограниты). Эксперименты выполнены по стандартным методикам в сопоставимых условиях, что позволяет получить сравнительные данные, характеризующие влияние текстурно-структурных особенностей пород на качество получаемого щебня. Анализ результатов выполненных исследований, а также деятельности дробильно-сортировочных комплексов позволяет выделить ряд зависимостей, которые могут быть использованы при текущем и перспективном планировании горных работ, а также при управлении технологическим процессом производства щебня.

В щебне лимитируется содержание зерен пластинчатой и игольчатой форм, которые имеют более низкую прочность по сравнению с кубовидными и являются причиной пустот между зернами щебня, что снижает качество дорожного покрытия и требует увеличения расхода связующего компонента в бетонных и асфальтобетонных смесях. Форма зерен дробленого материала, с одной стороны, определяется текстурно-структурными особенностями исходной горной породы, с другой — применяемым оборудованием и компоновкой технологической схемы дробления.

Разрушение породы происходит по наиболее ослабленным связям — трещинам, границам между отдельными минеральными агрегатами, и форма зерен определяется размерами, формой отдельных агрегатов и силами сцепления между ними. Таким образом, форму зерен обуславливает пространственная неоднородность прочностных свойств породы, определяющая ее способность разрушаться в определенных направлениях.

Исследование взаимосвязи анизотропии прочности и формы зерен щебня показывает, что габбро и габбро-диабазы характеризуются одинаковой прочностью при сжатии по направлениям разрушаемого куска (коэффициент анизотропии $k_a = 0,95–0,97$), что создает предпосылки для получения зерен преимущественно кубовидной формы: содержание зерен пластинчатой и игольчатой форм в щебне по фракциям 26,6–34,3%.

Для пород слоистой текстуры (гнейсограниты) характерна анизотропия прочностных свойств ($k_a = 0,42–0,51$). Разрушение происходит преимущественно в на-

правлении слоистости, что обуславливает высокое содержание в щебне зерен пластинчатой и игольчатой форм — 62,1–75,5%.

Порфировидные породы (некоторые разновидности гранитов) разрушаются преимущественно по границам сростаний отдельных минеральных агрегатов, и форма зерен щебня зависит от их размеров и пространственной ориентации. Неоднородность текстур гранитов приводит к существенным колебаниям значений анизотропии прочности ($k_a = 0,62–0,96$) и значительной разнице содержания зерен пластинчатой и игольчатой форм в щебне, полученном из различных проб. Например, минимальное и максимальное значения содержания зерен пластинчатой и игольчатой форм во фракции 5–10 мм в изученной выборке из 25 проб составляют 19 и 73,2% соответственно.

В промышленных условиях дробление ударом в роторных и центробежно-ударных, а также дробление «в слое» в конусных дробилках позволяют получать кондиционный по форме зерен щебень практически из всех типов пород. В то же время кубовидность щебня, полученного в различных дробилках, а также выделенного на разных стадиях дробления, значительно различается.

Проанализированы результаты определения содержания зерен пластинчатой и игольчатой форм щебня фракции 5–20 мм из габбро-диабазы, выпускаемого на одном из дробильно-сортировочных заводов Республики Карелия. В соответствии с технологической схемой щебень фракции 5–20 мм выводится как товарный продукт III стадии дробления в конусной и роторной дробилках, находящихся в параллельной работе. Щебень фракции 5–20 мм, полученный во II стадии дробления в конусной дробилке, является питанием роторной дробилки III стадии. Результаты испытаний показывают, что содержание зерен пластинчатой и игольчатой форм снижается до 7,7–19,6% (среднее 8,2%) при использовании центробежно-ударной дробилки и до 8,9–15,9% (среднее 13,5%) — конусной дробилки в III стадии (рис. 1). Содержание зерен пластинчатой и игольчатой форм в щебне, полученном во II стадии в конусной дробилке, значительно выше: 24,7–34,5% (среднее 32,4%).

Вместе с тем дезинтеграция в дробилках ударного действия приводит к увеличению выхода песка-отсева, что особенно заметно при переработке средне- и крупнозернистых пород.



Рис. 5. Зерна щебня из габбро-диабазы

НПК «Механобр-Техника» выпускает принципиально новые конусные дробилки инерционного действия с регулируемым дебалансным вибровозбудителем. Дробилки КИД обеспечивают получение щебня высокой кубовидности, позволяют существенно снизить выход отсевов дробления, а также имеют степень дробления в 1,5–2 раза выше, чем у других конусных дробилок [1].

Анализ компоновочных решений технологических схем показывает, что при дроблении по схеме с предварительным грохочением перед средним дроблением часть потока, выводимого как товарный щебень во II стадии, представляет собой дробленый продукт щековой дробилки, в котором содержание зерен пластинчатой и игловатой форм завышено. При дроблении по схеме, предусматривающей контрольное грохочение после II стадии, кубовидность продукта повышается в связи с тем, что весь поток, поступающий на грохочение, в результате которого выводится товарный щебень, является дробленным продуктом конусной дробилки, работающей в замкнутом цикле.

Таким образом, с точки зрения кубовидности щебня схема с контрольным грохочением во II стадии предпочтительна. Эта схема оптимальна для прочных и высокопрочных пород однородной текстуры, не склонных к переизмельчению и проявляющих однородность в прочностных свойствах получаемого щебня независимо от компоновки и параметров дробления. Для этих пород схема может быть ориентирована только на повышение кубовидности.

Прочность горной породы определяется ее минеральным составом, текстурой и структурой, а также количеством, размерами и ориентацией имеющихся в ней дефектов [2–6]. Информативной характеристикой, связывающей прочность породы с дефектностью строения, является пористость. Зависимость предела прочности при сжатии от средней (объемной) плотности, учитывающей пористость, имеет общий характер и прослеживается для всех изученных типов пород (рис. 2).

В то же время значимые корреляционные связи прочности и плотности в пределах одного генетического типа породы отсутствуют. Анализ показывает, что породы с одинаковым минеральным составом и равными значениями минеральной плотности, но обладающие различной текстурой и структурой, проявляют различия в прочностных свойствах. Результаты испытаний пород основного состава, имеющих близкие значения плотности, но различную структуру, показывают, что прочность снижается при переходе от среднезернистых пород к мелко- и тонкозернистым породам. Наиболее прочными являются породы скрытокристаллической структуры: среднее значение предела прочности при сжатии для 20 исследованных образцов 278 МПа.

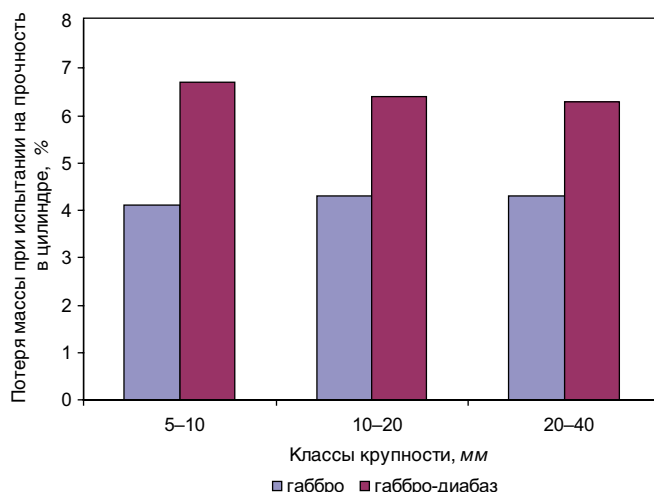


Рис. 6. Прочность щебня из габбро и габбро-диабазы по фракциям (усредненные значения)

Породы зернистой структуры менее прочны: предел прочности при сжатии 133–178 МПа.

При дезинтеграции во всем объеме породы создается деформационное поле, приводящее к развитию микронарушений и увеличению пористости [3, 5–6]. Этот вывод подтверждается многочисленными исследованиями основных физико-механических характеристик горных пород и полученного из них щебня: во всех случаях, независимо от текстурно-структурного типа, пористость щебня имеет более высокие значения по сравнению с пористостью исходной породы (рис. 3).

Наиболее прочным является щебень из габбро-диабазов, характеризующихся высокой плотностью, постепенно снижаясь при переходе к гранитам с более низкой средней плотностью. Прочность щебня из габбро-диабазов различных месторождений достаточно стабильна: независимо от применяемого оборудования и компоновки технологической схемы показатель дробимости (потеря массы при испытании) составляет 6–7% и менее, что соответствует марке 1400. Щебень из различных текстурно-структурных типов гранитов имеет марки по прочности 600–1200.

Лабораторными опытами на искусственно сформированных фракциях щебня с различным содержанием зерен пластинчатой и игловатой форм установлено, что зависимость прочности от формы зерен достаточно отчетливо проявляется для гранита и менее заметна для габбро-диабазы (рис. 4).

Испытаниями промышленно выпускаемого гранитного щебня установлено, что при увеличении количества стадий дробления увеличивается пористость породы, в результате прочность щебня снижается (см. таблицу).

В этой связи для гранитов средней прочности целесообразен переход на двухстадийную схему дробления. При дезинтеграции пород высокой прочности уменьшается степень дробления, вследствие чего для получения

Прочность промышленно выпускаемого гранитного щебня фракции 5–20 мм, выделенного во II и III стадиях дробления

Количество стадий дробления	Пористость, %	Потеря массы при испытании на прочность в цилиндре, %	Марка по прочности
3	5,7	17,4	1000
2	2,9	13,7	1200



Рис. 7. Зерна щебня фракции 10–20 мм из гранита (материал одной пробы): 1 – зерна плагиоклаза; 2 – зерна микроклина; 3 – зерно кварца; 4 – зерна со следами выветривания; 5 – зерна, содержащие плагиоклаз, амфибол и биотит в сростании; 6 – зерна, содержащие плагиоклаз и амфибол в сростании

мелких фракций щебня нужна либо III стадия дробления, либо применение КИД во II стадии.

Фракции щебня различной крупности для некоторых типов пород различаются по прочности. Теоретически с уменьшением размера кусков породы абсолютное число трещин уменьшается, поэтому относительная прочность мелких зерен должна быть выше [6]. Установлено, что эта зависимость неоднозначна для различных текстурно-структурных типов пород.

Прочность щебня по фракциям определяется не только наличием трещин и пористостью, но и прочностью и размерами отдельных минеральных агрегатов, а также силами сцепления между ними.

Габбро и габбро-диабазы однородны по текстуре (рис. 5), следовательно, прочность зерен щебня различных размеров определяется только пористостью, имеющей близкие значения для щебня по фракциям (рис. 3). Соответственно фракции щебня имеют практически одинаковую прочность (рис. 6).

Неоднородные по текстуре породы содержат разные по прочности и размерам минеральные агрегаты, и разрушение происходит преимущественно по границам их сростаний. В результате образуются неоднородные по составу и прочности зерна (рис. 7). Однозначная зависимость прочности щебня и размера фракций для таких пород отсутствует.

Для неоднородных по текстуре пород характерно селективное разрушение отдельных порообразующих минералов. Так, в гранитах и гнейсогранитах присутствуют слоистые силикаты (биотит, хлорит, серицит, хлорит) в количестве до 5–10%. Петрографические исследования показали, что эти минералы выделяются на границах между зернами, а также в виде отдельных агрегатов внутри зерен более прочных минералов. Исследования по изучению изменения структуры горных пород методом компьютерной микротомографии показали, что в результате действия сжимающих напряжений при дроблении происходит деструктуризация выделений слоистых силикатов как наиболее слабых составляющих и их вынос из зоны разрушения. Переход слоистых силикатов в пескостеи приводит к обогащению щебня по прочности, что особенно заметно для мелких фракций, когда основная масса минеральных агрегатов раскрыта. В зависимости от размеров минеральных агрегатов с учетом селективности дробления технологическая схема может быть ориентирована на получение фракций крупности, обладающих наиболее высокой прочностью.

Таким образом, обобщение результатов испытаний свидетельствует об относительной стабильности каче-

ства щебня, полученного из габбро и габбро-диабазов. Независимо от применяемого оборудования и компоновки технологической схемы щебень по фракциям имеет наивысшую марку по прочности. Схема дробления этих пород должна быть ориентирована только на повышение кубовидности щебня.

Прочностные характеристики и форма зерен гранитного щебня менее выдержаны, что связано, с одной стороны, с размерами и пространственной ориентацией отдельных минеральных агрегатов, зернистостью и пористостью исходных пород, с другой – с применяемым оборудованием и технологией дробления. Присутствие в некоторых текстурно-структурных разновидностях гранита разнопрочных минеральных агрегатов приводит к селективной дезинтеграции и создает возможность обогащения щебня по прочности.

Список литературы

1. *Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Шулюяков А.Д.* Производство кубовидного щебня и строительного песка с использованием вибрационных дробилок. СПб.: Издательство ВСЕГЕИ, 2004. 112 с.
2. *Ревнивец В.И., Гапонов Г.В., Зарогатский Л.П. и др.* Селективное разрушение минералов. М.: Наука, 1988. 286 с.
3. *Хопунов Э.А.* Роль структуры и прочностных характеристик минералов в разрушении и раскрытии руд // Обогащение руд. 2011. № 1. С. 25–31.
4. *Протасов Ю.И.* Разрушение горных пород. 3-е изд. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. 453 с.
5. *Буртан С.Т., Мустафин С.К.* Состав и свойства минерального остова в связи с проблемой управления качеством асфальтобетона // Дорожная держава. 2010. № 10, С. 20–27.
6. *Ржевский В.В., Новик В.Я.* Основы физики горных пород. 3-е изд. М.: Недра, 1978. 390 с.

СТРОИТЕЛЬСТВО
АРХИТЕКТУРА
ВОДА, ТЕПЛО,
ГОРОДА ИЛИ
ДОРОЖНОСТРОЙ



ВЫСТАВКА Ростов-на-Дону
СТИМэкспо
 СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ
12–15 марта

- Проектирование и строительство дорог, инженерных сооружений
- Машины и оборудование для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог
- Машины для землеройных работ
- Машины для транспортировки грузов
- Оборудование для строительной индустрии

- Инновационные проекты в дорожном хозяйстве
- Комплекующие изделия, агрегаты, материалы и запасные части для строительной техники
- Технические средства организации дорожного движения, безопасность движения
- Дорожный сервис



ПР. М. НАГИБИНА, 30. Тел. (863) 268-77-88
www.vertolexpo.ru

УДК 691.328:666.015.45

С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, Ивановский государственный политехнический университет; Б.А. КРЫЛОВ, д-р техн. наук, ОАО «НИЦ «Строительство» (Москва); В.И. БОБЫЛЕВ, д-р техн. наук, ООО «ДСК Инвест+»; А.Г. ПЫЖИКОВ, генеральный директор, Н.В. КРАСНОСЕЛЬСКИХ, первый зам. генерального директора, ОАО «ДСК» (Иваново); А.М. СОКОЛОВ, д-р техн. наук, Ивановский государственный энергетический университет

Применение электротепловой обработки железобетонных изделий на полигонных установках

Актуальной задачей в сфере производства сборного железобетона является снижение энергоемкости производственных процессов с целью уменьшения себестоимости продукции [1]. Выполненные оценки показали, что при технологических процессах, применяемых на заводах, наибольшую и значительную долю в себестоимости готовых изделий составляет стоимость тепло-влажностной обработки водяным паром (ТВО) [2, 3]. Перспективным направлением улучшения технико-экономических показателей является замена этого вида тепловой обработки электропрогревом [1, 4, 5], обладающим значительно большей энергетической эффективностью и, как следствие, меньшей стоимостью [2, 4]. Благоприятные условия применения электротепловой обработки (ЭТО) в настоящее время складываются благодаря возможности ее осуществления с помощью источников питания нового поколения, выполненных на основе полупроводниковых (транзисторных) преобразователей напряжения [4, 6].

На протяжении длительного периода на ОАО «ДСК» (Иваново) силами специалистов предприятия, Ивановского государственного архитектурно-строительного университета и Ивановского государственного энергетического университета проводятся исследования и разработки по применению ЭТО с сочетанием с традиционными методами тепловой обработки или взамен их. За этот период были выполнены достаточно обширные экспериментальные и теоретические исследования в этом направлении, в результате чего установлено влияние многих факторов на показатели и характеристики электротепловой обработки токами повышенной частоты [2, 4, 6–8]. Исследования показали высокую техническую, энергетическую и экономическую эффективность этого технологического решения. Вместе с тем влияние таких важных параметров режима

электротепловой обработки, как длительность стадии разогрева (скорости разогрева) и время предварительной выдержки изделия после завершения формования до начала электротепловой обработки оставалось неизученным.

С помощью описанных ранее оборудования и методики [4, 7, 8] были выполнены лабораторные экспериментальные исследования указанных факторов с использованием стандартных образцов $100 \times 100 \times 100$ мм из бетона класса В20. На рис. 1 представлены полученные зависимости предела прочности бетона при сжатии от длительности стадии нагревания при двух типичных значениях температуры изотермической выдержки 60 и 80°C. Длительность этой стадии согласно ранее полученным результатам [8] имела во всех опытах одинаковую величину и составляла 2 и 1 ч соответственно.

Приведенные зависимости позволяют сделать вывод, что длительность стадии нагревания должна быть либо не менее 3,5–4 ч при температуре изотермической стадии 60 и 80°C соответственно, либо не более 0,3 ч. В последнем случае разогрев должен производиться с большой скоростью – до 300°C/ч и более, но для этого требуются источники питания значительно большей мощности [9]. При длительности нагрева в диапазоне между указанными значениями, т. е. $0,3 \text{ ч} < \Delta t_{\text{нагр}} < 3,5 \text{ ч}$, бетон в возрасте 28 сут не достигает нормативной прочности и такой режим обработки неприемлем. Полученный результат подтверждает наличие деструктивных воздействий на материал в процессе его нагрева даже при однородном температурном поле, подробное качественное объяснение физической природы которых дано в [1].

На рис. 2 в виде диаграммы представлены результаты определения предела прочности при сжатии стандартных образцов бетона В20 в суточном возрасте. Они под-

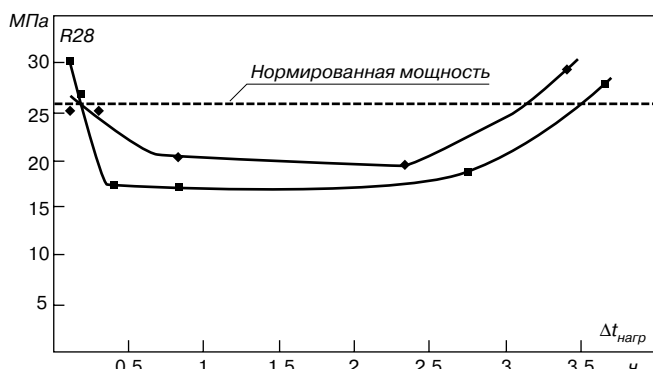


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии бетона В20 от длительности стадии нагревания $\Delta t_{\text{нагр}}$ и температуры изотермической стадии $T_{\text{изот}}$: $\blacklozenge$ – $T_{\text{изот}} = 60^\circ\text{C}$; $\blacksquare$ – $T_{\text{изот}} = 80^\circ\text{C}$

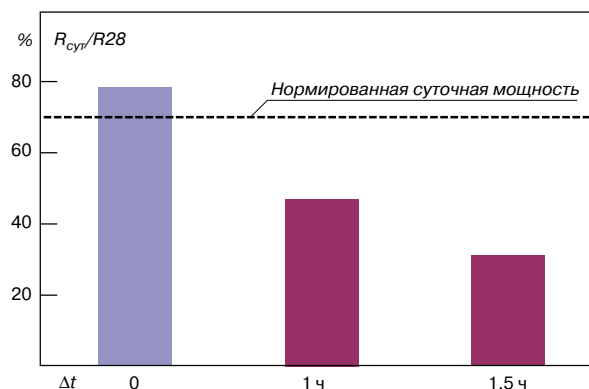


Рис. 2. Влияние времени предварительной выдержки Δt после укладки бетона до начала электротепловой обработки на суточную прочность образцов. Примечание: при $\Delta t = 0$ фактическое значение этого параметра составляет 5–10 мин

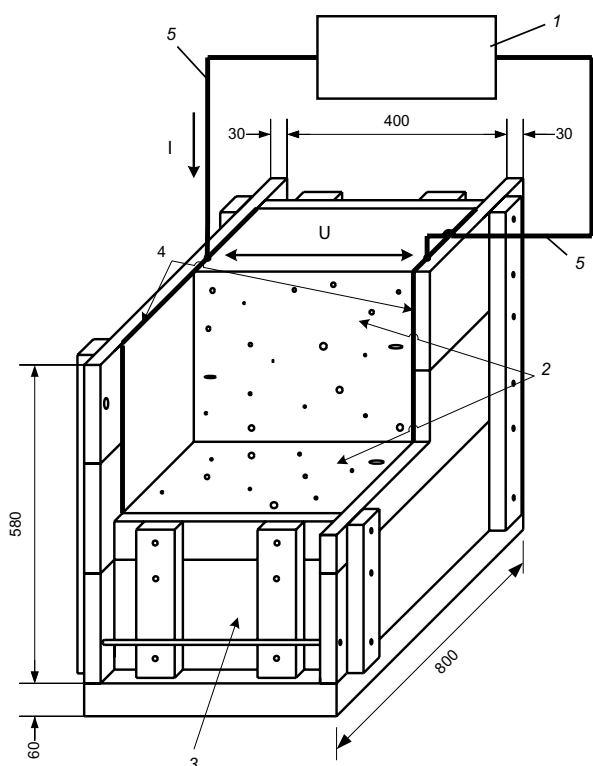


Рис. 3. Конструкция опалубки для изготовления и электротепловой обработки фрагмента фундаментного блока: 1 – источник питания; 2 – бетон; 3 – опалубка; 4 – электроды; 5 – подводящие провода

верглись электротепловой обработке токами повышенной частоты при различных значениях выдержки времени Δt после укладки бетона до начала электротепловой обработки. Что касается этого фактора, вывод очевиден: электротепловая обработка изделия должна начинаться сразу же после завершения формовки, без какой-либо временной выдержки, так как при ее длительности 1 ч и более предел прочности при сжатии в суточном возрасте оказывается меньше нормированного значения (рис. 2). В этих экспериментах было обнаружено также значительное изменение характера разрушения испытываемых образцов, которые были изготовлены при $\Delta t \geq 1$ ч. Эти образцы при испытании на прессе в момент потери механической прочности полностью теряли форму, распадаясь на большое количество фрагментов (кусочков), имеющих максимальные размеры в поперечнике не более 2–4 см. Эти фрагменты разлетались по всей плите испытательного пресса и за ее пределы. Такая картина разрушения не соответствует характерной форме стандартных образцов после испытаний при определении предела прочности при сжатии [4, 5], когда они по виду напоминают две усеченные пирамиды, обращенные к друг другу вершинами.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что длительная выдержка образцов $\Delta t \geq 1$ час в сочетании с электротепловой обработкой приводит к значительным изменениям структуры материала (бетона) и, по-видимому, состава продуктов гидратации цемента.

Целесообразно проведение дальнейших исследований в этом направлении с целью математического описания указанных явлений.

Накопленные к настоящему времени экспериментальные сведения, полученные в лабораторных условиях, а также разработанные методология, математические модели и расчетные методики, описывающие процессы электротепловой обработки токами повышенной частоты [10] позволяют перейти к реализации опытно-промышленного применения такой обработки в произ-

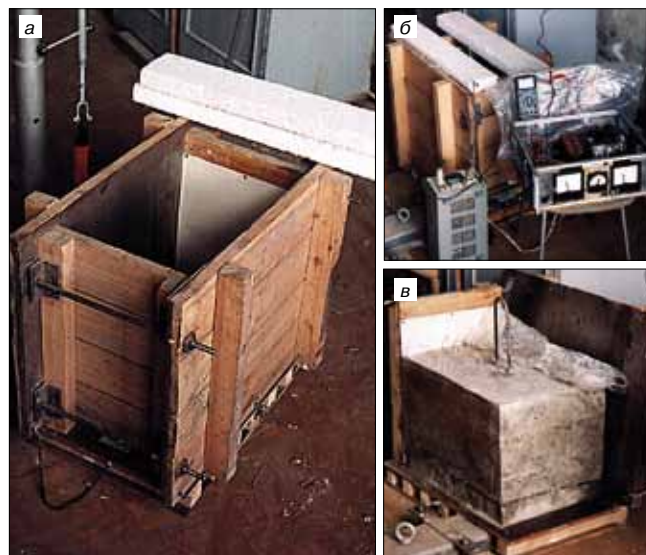


Рис. 4. Электротепловая обработка фрагмента фундаментного блока: а – внешний вид опалубки; б – проведение электротепловой обработки; в – изделие после электротепловой обработки, охлаждения и распалубки

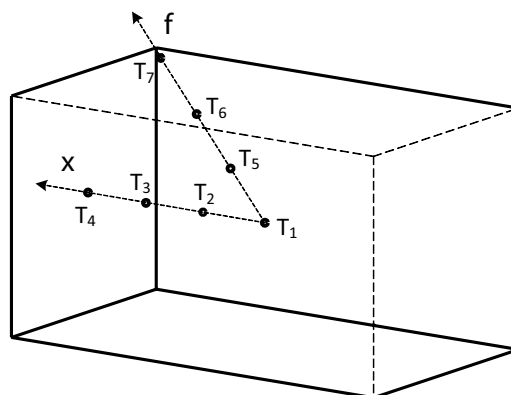


Рис. 5. Схема измерения температуры в эксперименте с фрагментом фундаментного блока

водственных условиях предприятий сборного железобетона. В качестве варианта первоочередного опытно-промышленного применения электротепловой обработки периодического действия с помощью источников питания на основе полупроводниковых преобразователей напряжения целесообразно выбрать использование электротермообработки взамен ТВО в полигонных установках. Такой выбор обусловлен тем, что в полигонных установках имеет место наименьшая эффективность использования энергии пара. Поэтому применение электротепловой обработки в этом случае должно дать максимальный технический и экономический эффект. Использование электротепловой обработки взамен полигонных установок позволит также изготовить технологическое оборудование более удобным для работы и обслуживания, что приведет к улучшению условий и повышению производительности труда. На полигонной установке изготавливаются простые по конструкции и форме железобетонные изделия (как правило, элементы фундаментов зданий), удобные для реализации электропрогрева электродным методом.

В качестве объекта испытания опытно-промышленного применения электротепловой обработки электродным методом выбран фрагмент фундаментного блока марки ФБС 9÷24.4.6–Т ГОСТ 13579–78 (600×580×400). Такое изделие является «доборным» элементом к широкой номенклатуре фундаментных блоков (ГОСТ 13579–78), имеет сравнительно неболь-

шие размеры и объем $V_6 \approx 0,13 \text{ м}^3$, удобные для проведения эксперимента, с модулем поверхности $M_{\Pi} = 11,8 \text{ м}^2$ и является типичным представителем продукции такого типа и назначения. Это позволяет предположить, что результаты, полученные в опытах с этим объектом, можно перенести на другие изделия этого вида продукции с применением простого масштабирования по размерам и объему.

Для изготовления и электротепловой обработки выбранного объекта была использована разборная опалубка, выполненная из сухих сосновых досок толщиной 30 мм, конструкция которой представлена на рис. 3. По своим теплоизоляционным свойствам такой материал соответствует слою пенопласта толщиной около 1 см [1, 5]. Электроды изготовлены из листового железа толщиной 0,8 мм и расположены на внутренней стороне поверхности опалубки, на двух противоположных гранях изделия с наибольшей площадью $S_3 = 0,58 \times 0,6 = 0,348 \text{ м}^2$ (рис. 3). Для электротепловой обработки был использован источник питания на основе транзисторного преобразователя напряжения мощностью 5 кВт.

После укладки и уплотнения бетона класса В20 в опалубку (рис. 3) на ее электроды подавалось напряжение от источника питания (рис. 4) и выполнялась электротепловая обработка посредством пропускания электрического тока повышенной частоты (12 кГц). Объем бетона (изделия) составил $V_6 \approx 0,08 \text{ м}^3$.

В ходе испытания периодически выполнялось измерение температуры с помощью термопары прибором типа DT 9207A в различных точках объекта обработки согласно рис. 5, а также регистрировались электрические параметры электротепловой обработки: напряжение U , ток I и определялась мощность P .

На рис. 6 представлены полученные при испытании зависимости изменения температуры материала по результатам ее измерения в различных точках, электрического напряжения, тока и мощности, передаваемой через источник питания. Эти зависимости подтверждают, что режим электротепловой обработки соответствует параметрам, рекомендованным по результатам лабораторных (рис. 1) [8] и теоретических исследований [6, 10]. При температуре изотермической стадии 80°C длительность стадии нагревания составила $\sim 3,6$ ч, изотермической стадии — 1 ч, скорость охлаждения находится в пределах допустимых значений [1, 5]. По электрическим параметрам на стадии нагревания фактически имеет место режим постоянной мощности (рис. 6, б). Изменение электрических параметров — напряжения, тока, сопротивления (рис. 6, б, в) соответствует результатам лабораторных и теоретических исследований [6, 7, 9].

Для оценки условий электротепловой обработки решающее значение имеют сведения о температурном поле в объеме материала. На рис. 7 представлены экспериментальные и расчетные [10] зависимости распределения температуры по двум характерным направлениям (рис. 5) для различных моментов времени обработки. Следует отметить, что опытные значения показывают меньшую степень неоднородности температурного поля, чем результаты расчета. Это можно объяснить тем, что фактическое значение коэффициента теплопроводности стенок опалубки меньше типового значения, взятого по справочной литературе и использованного в расчетах.

Также выполнены оценки энергетических и стоимостных показателей электротепловой обработки фрагмента фундаментного блока, результаты которых представлены в таблице (по состоянию цен на конец 2011 г.).

Более высокие значения электрической мощности (рис. 6, б) и электроэнергии (таблица), полученные в расчетах, обусловлены тем, что при вычислениях не

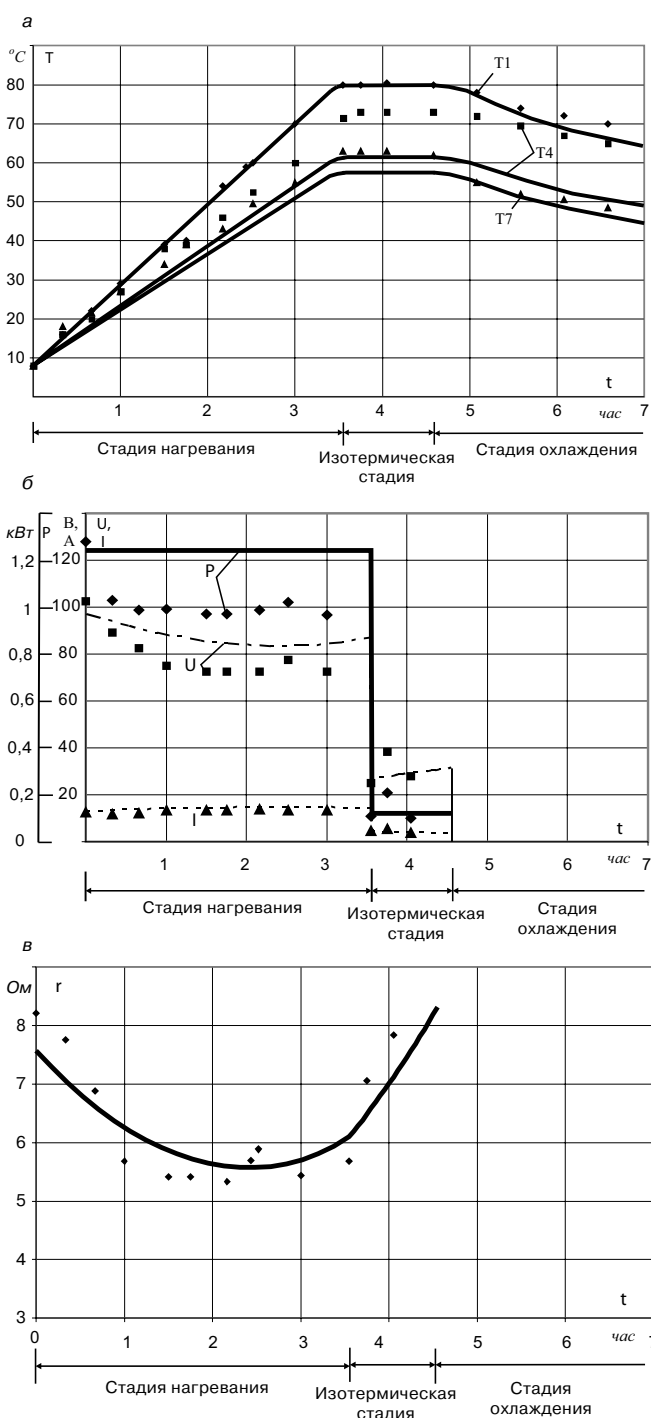


Рис. 6. Изменение температуры (а), электрического напряжения, тока и мощности (б) и электрического сопротивления (в) при электротепловой обработке фрагмента фундаментного блока: линии – расчет; точки – эксперимент

учитывался дополнительный нагрев материала за счет тепла гидратации цемента.

Выводы

Получено экспериментальное подтверждение представленных ранее теоретических результатов о высокой однородности температурных полей в объеме материала, о значительном повышении энергетической эффективности (более чем на порядок) и существенном снижении стоимости затраченной энергии (в 5,5–6 раз) при электротепловой обработке электродным методом реальных железобетонных изделий по сравнению с показателями ТВО водяным паром.

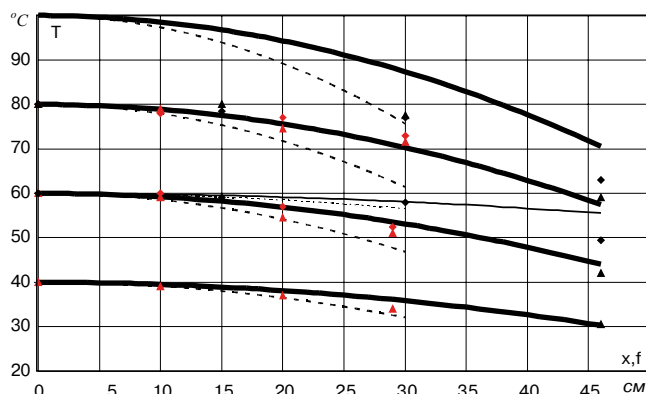


Рис. 7. Распределение температуры для различных моментов времени: линии – расчет, точки – эксперимент; сплошные линии – $T(f)$, пунктирные – $T(x)$; тонкие линии – расчет при наличии теплоизоляции на поверхности опалубки (пенопласт 5 см)

Установлено значительное влияние показателей начальных стадий (стадии предварительной выдержки, стадии нагревания) на важнейший параметр бетона – предел его прочности при сжатии; необходимо продолжение исследования этого влияния и разработка его математического описания.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости применения «мягких» режимов разогрева железобетонных изделий при скорости нагрева не более $10\text{--}15^\circ\text{C}/\text{ч}$ в случае использования электротепловой обработки электродным методом; с другой стороны, они показывают возможность применения форсированного разогрева при скорости $200\text{--}300^\circ\text{C}/\text{ч}$ и более; необходимо исследовать целесообразность применения такого режима на практике после изучения структуры и физико-технических характеристик прогретого бетона.

Авторы выражают благодарность за эффективную и профессиональную помощь в подготовке и проведении экспериментальных исследований сотрудникам ивановского ОАО «ДСК» А.П. Шишову, В.П. Горшенину, В.В. Лушникову, Г.Н. Кузнецовой.

Список литературы

1. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звездова. М.: НИИЖБ, 2005. 276 с.
2. Федосов С.В., Бобылев В.И., Петрухин А.Б., Соколов А.М. Оценка показателей экономической эффективности электротепловой обработки на предприятиях сборного железобетона // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 3. С. 54–57.
3. Богомолов О.В. Как сократить затраты на тепловую энергию // Строительные материалы. 2012. № 4. С. 20–22.
4. Федосов С.В., Бобылев В.И., Митькин Ю.А., Закинчак Г.Н., Соколов А.М. Электротепловая обработка бетона токами различной частоты // Строительные материалы. 2010. № 6. С. 2–7.
5. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2003. 500 с.
6. Федосов С.В., Бобылев В.И., Соколов А.М. Исследование режимов работы технологической установки при электротепловой обработке железобетонных изделий методом электродного прогрева. Сб. трудов Международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании». МГСУ, Москва, 19–21 октября 2011 г. Т. 1. С. 637–642.
7. Федосов С.В., Бобылев В.И., Митькин Ю.А., Соколов А.М. Исследование параметров электротепловой

Вид показателя	Затраты электроэнергии, кВтч		Стоимость электроэнергии, р.		Затраты и стоимость тепловой энергии при ТВО в Гкал/р.
	расчет	опыт	расчет	опыт	
Для изделия (объекта обработки)	3,96	3,71	11,9	11,13	0,035/65,25
На 1 м^3 железобетона	49,5	46,4	148,5	139,2	0,43/815,7

Примечание. При составлении таблицы тариф на электроэнергию принят равным $3\text{ р./кВт}\cdot\text{ч}$; тариф на тепловую энергию – $1864,4\text{ р./Гкал}$ (постановление РСТ Ивановской области №436-Т/9 от 25.11.2011).

обработки бетона токами различной частоты // Строительные материалы. 2009. № 5. С. 51–53.

8. Федосов С.В., Бобылев В.И., Митькин Ю.А., Соколов А.М. Исследование суточной прочности бетона при электротепловой обработке токами различной частоты // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 52–53.
9. Федосов С.В., Бобылев В.И., Соколов А.М. Исследование параметров установок для электротепловой обработки железобетонных изделий // Бетон и железобетон. 2011. № 2. С. 26–29.
10. Федосов С.В., Соколов А.М. Методология исследования процессов теплопереноса и показателей электротепловой обработки железобетонных изделий токами повышенной частоты // Academia. 2012. № 2. С. 117–123.

12-15 МАРТА
 Челябинск

VII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
УралСтройЭкспо.
 Энерго- и РесурсСбережение.
 ЖКХ – новые стандарты

- Строительные материалы и оборудование для их производства
- Инженерные сети: водо-, тепло-, газо-, электроснабжение
- Строительство
- Строительно-дорожная, коммунально-уборочная, специальная техника
- Фасадные и кровельные системы
- Энергосберегающие технологии в строительстве и ЖКХ
- Жилищно-коммунальное хозяйство и др.

В РАМКАХ ВЫСТАВКИ:
“IV ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ”

Организатор:

 ДС «Юность», Свердловский пр., 51
 Тел.: (351) 215-88-77 www.pvo74.ru

ПРОИЗВОДИТЕЛИ БЕТОНА ОБСУДИЛИ СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

30 октября в Москве состоялась II Всероссийская конференция производителей бетона. Организатор мероприятия — группа компаний «Полипласт». Генеральным спонсором форума выступил Межрегиональный Испытательный Центр (МИЦ), специализирующийся на проверке качества строительных материалов, различных изделий и готовых конструкций на территории России. Партнерами конференции стали «Группа компаний BESTO» (Москва) и ЗАО «Пласт-Рифей» (Челябинск). Одним из информационных партнеров выступил отраслевой научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы»®.

В обсуждении последних достижений и главных новостей в области технологии производства бетона и ЖБИ, контроля качества, нормативной базы приняли участие представители научно-технического сообщества и промышленных компаний: ведущие исследовательские центры и институты; производители товарного бетона и ЖБИ; представители организаций специального строительства (мостостроения, тоннелестроения, строительства аэропортов, АЭС и др.).

С благодарностью за проявленный интерес к мероприятию и словами приветствия выступил директор Московского филиала ООО «Полипласт Новомосковский» **А.А. Паламарчук**. Большой интерес у слушателей вызвал доклад зав. лабораторией технологии бетонов НИИЖБ им. А.А. Гвоздева канд. техн. наук **М.И. Бруссера**, в котором он озвучил основные тенденции развития современной системы нормативной документации в отрасли бетонного производства. В частности, он обратил внимание на часто возникающие противоречия, с которыми приходится сталкиваться заказчикам и поставщикам товарного бетона после неверно прописанных в договорах свойств и характеристик, подразумевающих ссылки на определенные правила и стандарты. Докладчик представил подробный анализ обновленных ГОСТов и предложил последовательность формирования полноценных двусторонних документов, которые помогут производителям при разбирательствах в арбитражном суде.

С аналитическим обзором строительной отрасли РФ и Московского региона перед участниками выступил начальник отдела стратегического развития ООО «Полипласт Новомосковский» канд. хим. наук **В.Ю. Машутин**, который рассказал о состоянии отечественного рынка цемента и бетона. Об исследовании свойств нафталинсульфонатных добавок в производстве цемента рассказал директор Института материаловедения и эффективных технологий д-р хим. наук **М.Я. Бикбау**. Итогом исследований ученого стало создание промышленной установки по производству наноцемента.

Выступление ген. директора ООО «МИЦ» **Л.И. Алебастровой** вызвало интерес и дискуссию, так как было посвящено наиболее актуальным вопросам, связанным с методиками испытаний и проверкой качества железобетонных изделий.

Одновременно с конференционной программой участники смогли оценить действие добавок «Криопласт ПК» и «Торкрет» на демонстрационном стенде, а также средства ухода за бетоном «Эгида», средства удаления бетона и ржавчины «АРЖ» и смазок производства ООО «Полипласт Новомосковский». Интерес участников вызвал круглый стол, где была возможность более детального обсуждения проблем использования нормативной документации. Начальник отдела испытаний ООО «МИЦ» **А.И. Гальцев** познакомил коллег с современными методами неразрушающего контроля при обследовании зданий и сооружений.

Благодаря участию консультантов и экспертов из разных компаний участники смогли получить ответы на возникающие вопросы и сделать выводы о целесообразности применения различных материалов и методик.



ETC
Группа компаний
«Единая Торговая Система»

НАШ ВКЛАД В РАЗВИТИЕ РЫНКА



**Самый широкий выбор
химического сырья**

Европа, Азия, Америка, Африка

**Финансовый сервис
Логистика**

Научно-технический центр

- лаборатория лакокрасочных систем
- лаборатория сухих систем
- технологи по экструзионным технологиям
- технологи по аминам и жирным кислотам
- технологи по ПАВам

www.utsrus.com

15-я Специализированная выставка
строительных материалов

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**ОСМ
2014**

28 – 31 января

Москва, ЦВК «Экспоцентр»



В РАМКАХ ВЫСТАВКИ:

**СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ПРОЕКТ
ДРЕВЕСИНА
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

CERAMATECH
САЛОН СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СЫРЬЯ
ДЛЯ ИНДУСТРИИ НЕРАБОЧЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Получите электронный билет
на www.osmexpo.ru

ОРГАНИЗАТОР:
ЕВРОЭКСПО

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
СПОНСОР:

Всё для строительства

СПОНСОР:

IMOS KERAM

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ
ПАРТНЕР:

КАПКСМ

ПАРТНЕР
ВЫСТАВКИ:

Специальный проект

Специальный проект

Специальный проект

Специальный проект

ПРИ СОДЕЙСТВИИ:

ЭКСПОЦЕНТР

ОБЩЕСТВЕННЫЙ
ИНТЕРНЕТ-ПАРТНЕР:

Специальный проект

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ИНТЕРНЕТ-ПАРТНЕР:

Специальный проект

ВЕДУЩИЙ
ИНТЕРНЕТ-ПАРТНЕР:

Специальный проект

АНАЛИТИЧЕСКИЙ
ПАРТНЕР:

Специальный проект

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА:

Специальный проект

КОТТЕДЖИ

Специальный проект

Специальный проект

Специальный проект

Специальный проект

Специальный проект

Специальный проект

Специальный проект

Специальный проект

Специальный проект

УДК 691

В.Н. СОКОВ, д-р техн. наук, А.Э. БЕГЛЯРОВ, канд. техн. наук,
Московский государственный строительный университет

Эффективные трехслойные монолитные изделия с наноструктурированным переходным слоем

В настоящее время одной из центральных проблем в строительстве является повышение энергоэффективности стеновых материалов. В сложившейся ситуации наиболее реальным и перспективным направлением в повышении теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий может стать применение трехслойных изделий с эффективным утеплителем, особенно рационально применение подобных систем с теплоизоляцией из пенополистиролбетона. Получают такие изделия путем послойной укладки масс в формы с виброуплотнением [1].

Большое внимание в процессе создания и эксплуатации подобных конструкций должно уделяться качеству сцепления слоев, влияющему на надежность и долговечность материала.

На наш взгляд при формировании таких изделий необходимо идти по пути создания моносистем, обеспечивающих совместную работу всех слоев конструкции, в структуре которой должно происходить взаимное проникновение двух несущих и теплоизоляционного слоев. Одновременно должна образовываться развитая удельная поверхность на плоскостях соприкосновения слоев и возникновение между ними переходной зоны, нивелирующей напряжения, возникающие между слоями. Такой прием выполнения монолита упростит конструкцию элемента, обеспечив надежное закрепление теплоизоляции внутри изделия, предотвратит ее деформации в условиях переменных механических и температурно-влажностных воздействий.

Целью работы является получение энергоэффективных трехслойных стеновых изделий с плавной переходной зоной между слоями, получаемых за один технологический прием методом объемного прессования в замкнутых перфорированных формах. Суть технологии заключается в следующем [2, 3]. В специально разработанную жесткую перфорированную форму из текстолита укладывается на полный объем три слоя — наружные из керамзитобетона и средний из бетона с предварительно подвешенным на водяной бане полистиролом. Форма закрывается крышкой, и масса подвергается электропрогреву в течение 20–25 мин через металлические электроды, расположенные на двух противоположных сторонах формы. При температуре выше 80°C подвешенный полистирол, находящийся в среднем слое, окончательно вспенивается, увеличиваясь в объеме и создавая в форме внутреннее избыточное давление до 0,3–0,4 МПа.

Используя энергетический потенциал полистирола, осуществляется комплексное воздействие на формируемые массы энергией гидротеплосилового поля, появляющегося при электропрогреве масс. Осуществляется приштамповывание слоев системы с их взаимным проникновением. При этом путем взвешивания формы с изделием до и после электропрогрева установлено, что из формируемых масс через перфорацию удаляется до 70%

воды затворения, на такой же объем уплотняется монолит, уменьшая капиллярную пористость и повышая прочность цементного камня.

В рассматриваемых системах определяющей становится не начальная, а конечная формовочная влажность масс, оставшаяся после отжатия на этапе самоуплотнения. Это обстоятельство позволяет использовать подвижные смеси ($V/C=0,55$), исключающие средства принудительного воздействия на них во время укладки в формы.

Для релаксации внутренних напряжений и набора структурной прочности изделия после электропрогрева выдерживают в форме до 50 мин. Далее распалубленные и прогретые до 80°C изделия, минуя стадию разогрева, направляются в камеру тепловой обработки, где они пропариваются в течение 5 ч при температуре 90°C и влажности 100%.

Весь цикл формования и тепловой обработки изделий сокращается в два раза по сравнению с ближайшим аналогом [4]. Так как время нахождения изделий в формах снижается в 8,5 раз, а стоимость текстолитовых форм лишь в 1,5 раза больше, чем традиционных металлических, общая эффективность от использования текстолитовых форм выше в 5,5 раз. Это создает предпосылки для ликвидации парка дорогостоящих металлических форм. Предлагается высокомеханизированная роторно-конвейерная линия, позволяющая изготавливать монолитно-слоистые изделия любой конфигурации [5].

При формировании трехслойных систем известными способами [6, 7] центральный слой (пенополистиролбетон) имеет повышенную по сравнению с плотными слоями формовочную влажность и зажат между ними. Поэтому в готовых изделиях, прошедших тепловлажностную обработку и частичную подсушку, количество

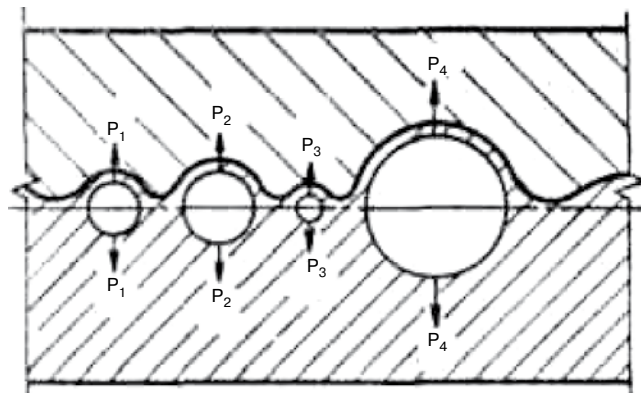
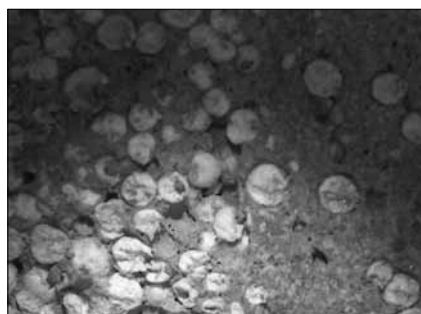
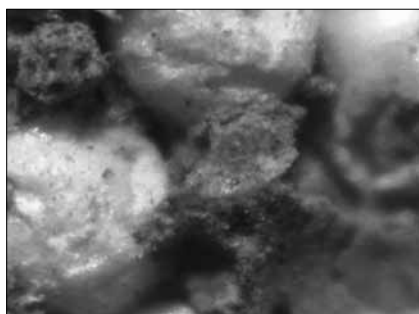


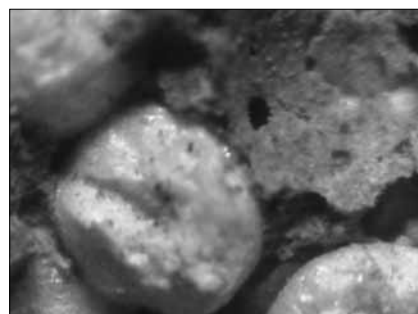
Рис. 1. Модель возникновения переменного поля давлений на границе наружного и теплоизоляционного слоев в процессе уплотнения масс на полистироле (фрагмент сочленения слоев после окончательного вспенивания полистирола)



X10



X60



X60

Рис. 2. Увеличенное изображение переходной зоны

влаги в центре всегда больше периферийных зон. При их эксплуатации происходит дополнительное накопление влаги в центре изделия и она не успевает высушиваться в летний период. Отсюда теплопотери и возможность расслоения системы. Незначительное содержание влаги, оставшейся в созданном материале только для твердения вяжущего, — достаточная гарантия от недопустимого снижения сопротивления теплопередаче.

Создание фасонной поверхности контакта слоев происходит вследствие того, что зерновой состав вспенивающихся гранул полистирола полифракционный (размер фракции 1–4 мм, изготовитель ЗАО «Сибур-Химпром»), поэтому усилия, развиваемые ими в массе при окончательном вспенивании, будут различны. Данный состав получается путем просева исходного бисерного полистирола.

Из рис. 1 видно, что давления $P_4 > P_3 > P_2 > P_1$, поэтому и степень внедрения плотного слоя в теплоизоляционный слой различна.

Взаимное проникновение слоев наглядно показано на рис. 2.

Согласно гипотезе авторов выполнение трехслойного строительного элемента в виде монолита обеспечивается надежным и неразъемным соединением теплоизоляционного слоя внутри изделия через переходный слой, усиленный нанодисперсными частицами минеральных компонентов, полученными в процессе формования изделий. В соответствии с предположениями формирование такого слоя (рис. 3) происходит под влиянием комплексного воздействия на самоуплотняющиеся массы гидротеплосилового поля (ГТСП). Под его воздействием зерна цементного клинкера частично самодиспергируются до коллоидных частиц, лежащих в пределах наноразмеров. По фильтрационным протокам они продвигаются вместе с отжимаемой влагой [8, 9] и, встречая здесь значительные сопротивления, оседают по пути движения воды по мере снижения ее взвешивающей силы, создавая переходную зону, нивелирующую напряжения, возникающие при эксплуатации материала [10].

Гидратация и начальная стадия структурообразования цемента в условиях действия избыточного давления, температуры и пониженного водосодержания совпадают с первым периодом твердения вяжущего.

При этом растворение клинкерных минералов, насыщение жидкой фазы продуктами их гидратации и образование микроскопических центров кристаллизации преобладают над образованием коагуляционных структур, формирование которых осложнено активным массопереносом. По мере уплотнения структуры отжатие влаги из масс постепенно прекращается и при остывании материала создаются предпосылки для интенсивного роста кристаллических новообразований по всему объему, как на поверхности гидратирующихся частиц, так и из пересыщенного продуктами гидратации раствора.

Это позволяет сделать вывод, что ГТСП воздействует на твердеющую минеральную матрицу направленно, как на механическое удаление через жидкую фазу избыточной формовочной влаги, так и на модифицирование механизма гидратации вяжущего при влажосодержании, близком к стехиометрическому.

В отличие от трехслойных изделий с пенополистиролбетоном в среднем слое [4], в котором пенополистирол рассматривается как суперлегкий заполнитель, в работе использовалась потенциальная энергия его вспучивания. При окончательном вспенивании полистирола в бетоне он создает не только избыточное дав-

Таблица 1

Марка	Геометрические размеры образцов, мм			Масса, г	Разрушающая нагрузка, кг	Прочность, МПа	Средняя прочность, МПа
	a	b	h				
М3,5	100,3	99,5	400,1	1731	322	0,3212	0,33
	100,1	100,4	399,6	1740	328	0,3263	
	100,3	99,5	400,1	1731	340	0,3413	
	100,1	100,4	399,6	1740	335	0,3332	
М5	99,2	98,5	397,9	1950	470	0,4577	0,469
	99,8	99,9	400,4	2041	490	0,4828	
	99,2	98,5	397,9	1950	483	0,4691	
	99,8	99,9	400,4	2041	501	0,4657	
М10	99,3	100,1	400,4	2139	684	0,6828	0,673
	99,3	99,6	400,8	2154	684	0,668	
	99,5	99,6	400,8	2154	693	0,668	
	99,5	100,1	400,4	2139	694	0,6828	
М15	98,7	100	399,3	2336	840	0,8238	0,799
	98,7	100	399,3	2336	820	0,8041	
	100,3	100	399,4	2441	830	0,8035	
	100,3	100	399,4	2441	790	0,7648	

Таблица 2

Свойства	Разработанные изделия	Трехслойные изделия со средним полистиролбетонным слоем
Средняя плотность, кг/м ³ : теплоизоляционного слоя плотных слоев	200–600 2300–2500	200–600 2300–2500
Предел прочности при сжатии, МПа: теплоизоляционного слоя плотных слоев	0,92–1,29 27,1–37,5	0,64–1 21,1–29,6
Термическое сопротивление при толщине изделия 400 мм, м ² ·°С/Вт	4,6	3,54
Расход энергии на 1 м ³ изделий, кг пара	75	154
Время технологического цикла, ч	7	15

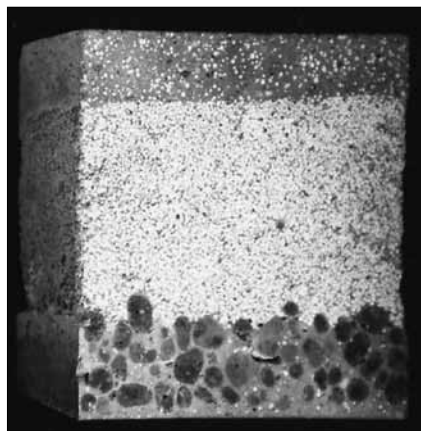


Рис. 3. Слоистый стеновой блок с переходной зоной

ление, но и выполняет структуроформирующую роль. Расширение гранул полистирола способствует формированию плотной минеральной (несущей) матрицы, минимизации межгранульной пористости, спеканию гранул между собой в области межгранульного контакта и формированию двойного (минерально-полистирольного) пространственного скелета. В результате значительно (по сравнению с бетоном на инертном пенополистироле) увеличивается прочность при изгибе. Исследование такой структуры пенополистиролбетона показало, что усилие от нагрузки воспринимается минеральной матрицей материала, при этом нормальные напряжения передаются на полимерный каркас. Разрушение бетона происходит при нормальных напряжениях, превышающих прочность при разрыве полимерного каркаса, или в том случае, если прилагаемая нагрузка превышает прочность при сжатии минеральной матрицы.

Совместная монолитная работа всех слоев предлагаемой конструкции позволяет отказаться от механических приспособлений для связи бетонных слоев (шпонки, арматура, гибкие связи), свойственных традиционным трехслойным изделиям. Разработанная технология позволяет совместить на этапе формирования ряд технологических операций: уплотнение масс, их обезвоживание, обеспечение четких граней, хорошей лицевой поверхности и выштамповывание любого профиля изделий, например пазогребневых.

Перспективность разработанной технологии обусловлена возможностью изготовления трехслойных монолитных блоков для малоэтажного строительства непосредственно на месте возведения здания.

Проведены испытания прочности сцепления слоев друг с другом (табл. 1). Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что прочность сцепления слоев в монолитно-слоистых стеновых изделиях за счет объемного прессования в среднем на 28% превосходит прочность аналогичных трехслойных изделий [4], в которых отсутствует переходная зона и фасонная поверхность контакта слоев.

Разработанная технология защищена патентом РФ на изобретение № 2444435 (В.Н. Соков, А.Э. Бегляров. Способ изготовления трехслойных строительных изделий).

В табл. 2 приведено сравнение свойств разработанных изделий со свойствами известных аналогов.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод, что использование предлагаемой технологии позволяет значительно сократить технологический цикл производства при улучшении эксплуатационных характеристик получаемых изделий и снижении их себестоимости. Полученный материал является

эффективным строительным материалом и представляет практический интерес для промышленности.

Ключевые слова: трехслойные изделия, электропрогрев, гидротеплосиловое поле, наноструктурированная зона, монолитно-слоистое изделие.

Список литературы

1. Король Е.А. Актуальные вопросы энергоэффективности зданий и сооружений, пути их решения // Вестник МГСУ. 2009. № 3. С. 5–10.
2. Соков В.Н., Бегляров А.Э., Жабин Д.В., Землянушов Д.Ю. О возможностях создания эффективных теплоизоляционных материалов методом комплексного воздействия на активные подвижные массы гидротеплосиловым полем // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 9. С. 17–18.
3. Соков В.Н., Бегляров А.Э., Землянушов Д.Ю., Жабин Д.В. Теплосиловой монолитно-слоистый блок // Вестник МГСУ. 2011. № 1. С. 309–312.
4. Король Е.А., Пугач Е.М., Ратушный В.Е. Разработка технических решений и технологии производства энергосберегающих многослойных ограждающих конструкций повышенной надежности с теплоизоляционным слоем из бетона низкой теплопроводности. Сб. докладов научно-практической конференции-выставки «Наука, инновации, подготовка кадров в строительстве». Москва, 7–10 декабря 2004 г. С. 115–119.
5. Мишин В.М., Соков В.Н. Теоретические и технологические принципы создания теплоизоляционных материалов нового поколения в гидротеплосиловом поле. М.: Молодая гвардия, 2000. 352 с.
6. Баженов Ю.М., Король Е.А., Ерофеев И.Е. и др. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности. М.: АСВ. 2008. 320 с.
7. Король Е.А. Трехслойные ограждающие железобетонные конструкции из легких бетонов и особенности их расчета. М.: АСВ, 2001. 256 с.
8. Соков В.Н., Мишина Г.В. Самоуплотненный гипс-полистиролбетон. М.: МПА. 1999. 128 с.
9. Гаркави М.С., Некрасова С.А., Трошкина Е.А. Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах // Строительные материалы. 2013. № 2. С. 38–41.
10. Бегляров А.Э. Новые энергоэффективные монолитно-слоистые материалы с переходным слоем. Сб. докладов конференции в рамках выставки «Научно-техническое творчество молодежи». Москва, 28 июня – 1 июля 2010 г. С. 93–94.

О.Г. ВОЛОКИТИН, канд. техн. наук, Н.К. СКРИПНИКОВА, Г.Г. ВОЛОКИТИН, доктора техн. наук, В.В. ШЕХОВЦОВ, студент, Томский государственный архитектурно-строительный университет; В.И. ВЕРЕЩАГИН, д-р техн. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет; А.И. ХАЙСУНДИНОВ, магистр, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

Минеральное волокно, полученное в агрегатах низкотемпературной плазмы из продуктов сжигания каменного угля и горючих сланцев*

Промышленность строительных материалов призвана обеспечить застройщиков строительными материалами, учитывая изменения архитектурно-строительных систем, типов зданий и строительных технологий их возведения. Продукция отрасли должна обеспечить строительные и ремонтно-строительные организации качественными, экологичными и современными строительными материалами, изделиями и конструкциями.

В последние годы было организовано производство новых видов строительных материалов, которые раньше не выпускались в России или выпускались в ограниченных объемах. К ним относятся высокоэффективные теплоизоляционные изделия из стекло- и минерального волокон. Решение важнейшей сегодня проблемы энергосбережения невозможно без применения высокоэффективных теплоизоляционных материалов. Сырьем для данных материалов в основном являются базальтовые породы. Представляет интерес использование в качестве сырья для производства минеральных волокон отходов энергетических производств, таких как золошлаковые отходы и отходы горючих сланцев [1–3]. При этом одновременно решаются две задачи: утилизация отходов, огромное количество которых скопилось в отвалах энергетических производств, и снижение себестоимости производства теплоизоляционных материалов за счет использования вторичного сырья. При этом наибольший эффект достигается, когда технологии и оборудование ориентированы на местную сырьевую базу. Химический состав продуктов сжигания каменного угля и горючих сланцев предполагает высокую температуру получения расплавов.

Целью настоящей работы является проведение исследований по получению расплава из тугоплавкого силикатсодержащего сырья, представляющего собой золошлаковые отходы и продукты сжигания горючих сланцев; исследование свойств полученного минерального волокна, а также определение удельных тепловых потоков при получении продуктов.

Существующие производства не позволяют получать качественный расплав из техногенных отходов вслед-

ствие высоких температур плавления исходных сырьевых материалов [2–4], при этом невозможно добиться требуемой для получения качественных минеральных волокон вязкости расплава и не обеспечивается однородность расплава по химическому составу. Кроме того, исследуемые материалы мелкодисперсны, что исключает их использование в традиционных агрегатах, где применяется кусковой материал.

Температура плавления исследованного сырья достигает 1600–1700°C, в связи с этим возникает необходимость в использовании энергии низкотемпературной плазмы, которая обладает высокой концентрацией энергии и температурой 3000–5000°C, при этом резко снижается время получения расплава. Необходимо отметить, что плазменные процессы фактически безинерционны, ими легко управлять и автоматизировать. Таким образом, применение плазменных технологий при получении минеральных волокон позволит сделать эти производства более экономичными и решить проблемы экологии.

Химический состав исходных материалов (табл. 1) показывает, что преобладающими в их составе являются оксиды кремния и алюминия. Расплавы с высоким содержанием SiO_2 , полученные при воздействии на них высокотемпературных источников энергии, при охлаждении переходят в стеклообразное состояние [5].

Анализ данных (табл. 1) показал, что повышенное содержание SiO_2 в золошлаковых отходах и продуктах сжигания сланцев определяет высокую температуру получения расплавов и выработки волокон. Предполагается повышение температуры деформации волокон.

Исследования по применению низкотемпературной плазмы для получения силикатного расплава при производстве минеральных волокон выявили ряд особенностей при конструировании плавильного агрегата [5, 6]. С учетом этих особенностей была разработана экспериментальная плавильная печь для получения высокотемпературных силикатных расплавов плазменным методом.

На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки, предназначенной для выработки минераль-

Таблица 1

Материал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Прочие	Модуль кислотности, M_K^*
Продукты сжигания сланцев	61,59	23,36	7,91	1,6	1,27	4,27	29,59
Золошлаковые отходы	51,16	34,57	3,62	8,33	0,91	1,41	9,28
Базальт	49,4	16,17	7,24	8,98	3,37	14,84	5,31

Примечание. * модуль кислотности $M_K = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$.

* Работа частично поддержана грантом Президента РФ МК-2330.2013.8.

Таблица 2

№ режима	Мощность плазмотрона, кВт	Сила тока, А	Напряжение, В	Удельный тепловой поток, Вт/м ²
1	24	140	170	1,1 · 10 ⁶
2	35	220	160	1,8 · 10 ⁶
3	56	400	140	2,6 · 10 ⁶

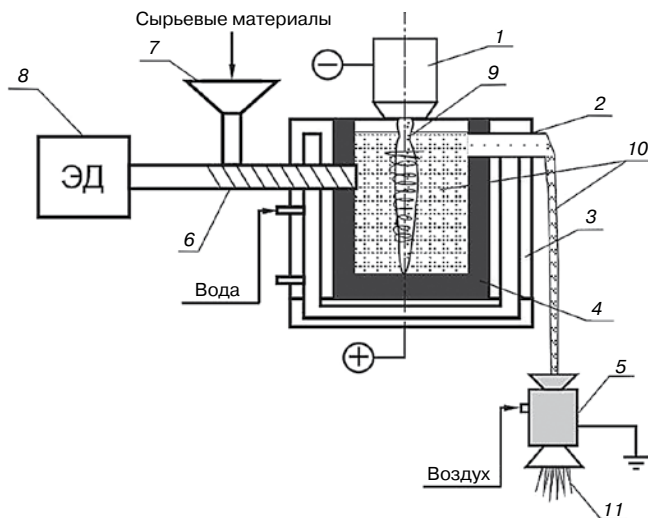


Рис. 1. Схема экспериментальной плазменной установки для получения минерального волокна из высокотемпературных расплавов: 1 – плазмотрон; 2 – сливной желоб; 3 – водоохлаждаемая плавильная печь; 4 – графитовый тигель; 5 – устройство волокнообразования; 6 – шнековый питатель; 7 – дозирующее устройство; 8 – электродвигатель; 9 – плазменная дуга; 10 – расплав; 11 – минеральные волокна

ного волокна из расплавов, получаемых при температуре выше 1450°C. Установка состоит из следующих основных узлов: генератора низкотемпературной плазмы 1; плавильной печи 3; выполненной в виде водоохлаждаемого цилиндра, внутрь которого помещен графитовый тигель; дозирующего устройства с червячным редуктором для подачи дисперсного материала 7; узла волокнообразования 5.

Принцип работы установки основан на взаимодействии высококонцентрированных потоков плазмы 9 с порошкообразным тугоплавким силикатсодержащим материалом (отходы горючих сланцев, зола после сжигания каменного угля), в результате которого осуществляется нагрев дисперсных частиц с последующим образованием расплава 10. Образующийся расплав поступает к узлу волокнообразования 5. Использование конструкции дозирующего устройства со шнековым питателем 6 обеспечивает введение сырья не сверху на поверхность расплава, а с боковой части корпуса плавильной печи и непосредственно в область расплава. Частицы поступившей порции сырья, попадая в высокотемпературный расплав, смешиваются с ним и равномерно расплавляются, исключая выдувание мелкодисперсных частиц потоком низкотемпературной плазмы.

Сырье вводится в толщу уже образованного расплава, и в результате посредством джоулева нагрева по всему объему плавильной печи производится расплав введенного порошкообразного сырья. Что в результате позволяет достичь необходимой вязкости расплава и обеспечить равномерный его прогрев. После того как расплав достигает уровня сливного желоба 2, поток силикатного расплава, переливаясь через его край, поступает к устройству 5 раздува в минеральные волокна. Графитовый тигель и устройство его охлаждения позволяют продлить срок службы плавильной печи.

Предварительно были установлены рабочие режимы плазменного генератора и теплофизические параметры дугового разряда (табл. 2).

Рабочие режимы электроплазменной установки позволяют достичь удельных тепловых потоков 1,1–2,6·10⁶ Вт/м², достаточных для получения расплава с необходимой вязкостью и выработки на его основе качественных минеральных волокон.

Процесс формирования волокон из расплавов осуществляется следующим образом: однородный по температуре и химическому составу расплав, обладающий требуемой вязкостью, поступает в дутьевое устройство, где высокоскоростным турбулентным потоком воздуха преобразуется в волокна.

Особенностью конструкции струйных головок является специальная кольцевая резонирующая полость, обращенная открытой стороной навстречу потоку энергоносителя. Механизм раздува заключается в разрушении свободно падающей струи расплава высокочастотными колебаниями, возникающими в результате истечения воздуха из цилиндрического сопла [7].

Образующийся в прямоточной головке сверхзвуковой поток воздуха выполняет двойную роль: своим ультразвуковым полем генерирует на поверхности расплава капиллярные поверхностные волны и одновременно срывает их вершины путем последовательного сдвига. Эти процессы определяют основные параметры волокна: минимальный диаметр, а также длину волокон, зависящую от диаметра струи расплава и его вязкости.



Рис. 2. Микрофотографии минеральных волокон (х 300): а – золотшлаковые отходы d=9 мкм; б – продукты сжигания сланцев, d=11 мкм

Таблица 3

Свойства	Минеральное волокно из золы	Минеральное волокно из продуктов сжигания сланцев	Минеральное волокно из базальта	Вата минеральная (ВМ-В), ГОСТ 4640-93
Модуль кислотности	<9,28	<29,59	<5,31	<1,4
Водостойкость, pH, не более	7	7	6	7
Средний диаметр волокна, мкм, не более	9	10	8	12
Содержание корольков, %	18	25	16	25
Длина волокна, мм	50–90	60–90	50–70	40–60
Плотность, кг/м ³ , не более	60	50	70	100
Температура деструкции волокна	765	790	610	–
Теплопроводность при температуре (398±5) К, Вт/(м·К), не более	0,061	0,06	0,063	0,066

Установлено, что оптимальная для получения качественного волокна температура расплава находится в пределах 1600–1700°C [8]. При этом масса расплава должна быть химически и термически однородной, а диаметр струи постоянным. При несоблюдении условий образуются волокна разной толщины, снижая качество получаемой продукции. Равномерность струи расплава по диаметру, в свою очередь, определяется стабильностью дозирования шихты и вытекания расплава. Моноволокна, полученные из расплавов золы и продукта сжигания сланцев, отличаются по длине и диаметру, что связано с различным химическим составом сырья, а также с вязкостью получаемого из него расплава при одинаковых условиях плавания и выработки волокон (рис. 2). Характер распределения моноволокна в минераловатном ковре по диаметру говорит о стабильности процесса раздува и надежности работы используемой схемы.

Характеристики волокон и свойства минеральной ваты представлены в табл. 3.

Анализ таблицы показал, что исследуемые материалы отличаются от традиционных повышенным модулем кислотности, который в 1,75 раза выше по золе и в 5,57 раза – по продуктам сжигания сланцев, это обусловлено химическим составом сырьевых материалов – высоким содержанием оксидов кремния и алюминия при относительно низком содержании оксидов кальция и магния. Полученные волокна соответствуют ВМ-В (ГОСТ 4640-93). Установлено, что использование агрегатов низкотемпературной плазмы для получения высокотемпературных силикатных расплавов из сырьевых материалов, представляющих собой золашлаковые смеси и продукты сжигания горючих сланцев, характеризующиеся высоким модулем кислотности, мелкой фракцией и высокой температурой плавления (1600–1700°C), позволяет обеспечить формирование качественных минеральных волокон, обладающих высокой химической стойкостью, водостойкостью, средним диаметром 9–10 мкм и длиной 50–90 мм. Минеральная вата обладает плотностью не более 50–60 кг/м³ и теплопроводностью не более 0,061–0,06 Вт/(м·К).

В результате проведенных исследований были получены высокотемпературные силикатные расплавы из золашлаковых отходов и отходов горючих сланцев, обладающие необходимой для выработки качественных химически стойких минеральных волокон температурой и вязкостью. Подтверждено, что указанные расплавы могут быть использованы для получения минерального волокна с использованием низкотемпературной плазмы. Установлено, что мощности плазменного генератора достаточно для получения высокотемпературных силикатных расплавов. Генерируемые плазмотроном удельные тепловые потоки $1,8\text{--}2,6 \cdot 10^6$ Вт/м² позволяют получить

химически однородный силикатный расплав. Исследованные характеристики полученных минеральных волокон позволяют сделать вывод, что волокно, полученное из отходов энергетических производств, характеризуется повышенной химической устойчивостью, что предполагает наибольшую долговечность. Для уменьшения диаметра волокон необходимо увеличивать температуру расплава при раздуве. Отличительными свойствами волокна являются высокий модуль кислотности, водостойкость, длина волокна, и оно может быть использовано для высокотемпературной изоляции.

Ключевые слова: минеральные волокна, утилизация отходов, электроплазменная установка, силикатный расплав.

Список литературы

1. Волокитин О.Г. Физико-химические исследования материалов при получении минеральных волокон из техногенных отходов по плазменной технологии // Вестник ТГАСУ. 2009. № 4. С. 100–107.
2. Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Волланд С. Технология получения минеральных волокон путем утилизации золашлаковых отходов и отходов горючих сланцев // Стекло и керамика. 2011. № 8. С. 3–5.
3. Волокитин О.Г. Исследование физических характеристик струи силикатного расплава в условиях дополнительного подогрева // Вестник ТГАСУ. 2010. № 4. С. 117–120.
4. Скрипникова Н.К., Никифоров А.А., Волокитин О.Г. Электроплазменная установка получения минерального волокна из тугоплавких силикатсодержащих материалов // Стекло и керамика. 2008. № 11. С. 14–16.
5. Пат. 2344093 Российская Федерация. МПК51 C03B 37/04. Установка для получения минеральных волокон / О.Г. Волокитин, А.А. Никифоров, Н.К. Скрипникова. Оpubл. 20.01.2009. Бюл. № 2. 5 с.
6. Пат. 2355651 Российская Федерация. МПК51 C03B 37/04. Установка для получения минерального расплава плазменным нагревом / О.Г. Волокитин, Е.В. Гайслер, А.А. Никифоров, Н.К. Скрипникова. Оpubл. 20.05.2009. Бюл. № 14. 8 с.
7. Татаринцева О.С., Ворожцов Б.И. Механизм преобразования расплава в волокно // Ползуновский вестник. 2006. № 2. С. 149–157.
8. Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Никифоров А.А., Волокитин О.Г. Получение тугоплавких силикатных расплавов с использованием высококонцентрированных потоков энергии // Актуальные проблемы современности. Серия «Технические науки». 2011. № 5 (70). С. 21–24.

УДК 691.11

А.А. СТЕНИН, инженер (01_ac@bk.ru), А.М. АЙЗЕНШТАДТ, д-р хим. наук,
А.А. ШИНКАРУК, Т.А. МАХОВА, кандидаты хим. наук,
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова (Архангельск)

Формирование огнезащитных свойств строительных материалов из древесины с использованием высокодисперсного базальтового наполнителя

Древесина является старейшим строительным материалом, который обладает рядом с положительными свойствами (низкая средняя плотность, высокие прочностные показатели, низкая теплопроводность) и отрицательными характеристиками, например высокой гигроскопичностью и пожароопасностью.

В настоящее время для модификации поверхности строительных материалов и конструкций из натуральной древесины популярны такие способы, как поверхностная и глубокая пропитка разными специальными составами, содержащими антипирены, а также нанесение огнезащитных покрытий, обычно лакокрасочных, вспучивающегося (интумесцентного) типа и др. [1, 2]. Такие покрытия при относительно небольшой толщине проявляют высокую эффективность, позволяют использовать современные механизированные способы нанесения на защищаемый объект и в то же время способны сохранять исходную текстуру древесины и ее эстетический вид. Однако еще в [3] отмечено, что более глубокое проникновение огнезащитного раствора в поверхностные слои древесины обеспечивается при таких методах пропитки, как применение горяче-холодных ванн, а также обработка их в автоклавах в режиме последовательного увеличения давления или чередования вакуума и повышенного давления.

Вместе с тем общим серьезным недостатком в используемых рецептурах защитных пропиточных составов является присутствие химических соединений, негативно сказывающихся на экологичности готовой продукции (производные фосфорной и фосфоновой кислот, аммонийные соли серной и соляной кислот, хлориды щелочных и щелочно-земельных металлов и пр.), что значительно сужает сферу их применения. Кроме того, компоненты пропиточных растворов гигроскопичны или растворимы в воде, поэтому в атмосферной среде с влажностью 70% или при прямом контакте с водой защитные функции пропиток древесины могут быть полностью или частично утрачены [1].

В исследованиях [4–5] показана возможность модифицировать поверхность строительных материалов из древесины минеральным наполнителем на основе высокодисперсного композита состава базальт-сапонит-оксид кальция по автоклавной технологии. Кроме того, в данных работах предложена технологическая схема и отработаны основные режимные параметры процесса модификации древесины. В статье [6] на основании исследования энергетических свойств высокодисперсного композита базальт (средний размер частиц $d=206\pm 57$ нм) – сапонит ($d=361\pm 96$ нм) установлен оптимальный состав (в мас. %) компонентов, водная суспензия которых (рН=9) характеризуется наибольшим адгезионным взаимодействием с поверхностью материалов из древеси-

ны (90% базальт и 10% сапонит). Однако для усиления пленкообразующего эффекта минерального композита в работе [4] показана эффективность добавки оксида кальция в количестве 7% от общей массы сухих веществ в суспензии модификатора.

Целью исследований, представленных в данной работе, являлось получение модифицированных образцов древесины на сконструированной опытно-лабораторной установке и изучение огнезащитных свойств данных образцов.

Для исследований был выбран пиломатериал древесины сосны (сухощепка) из тайги Архангельской области. Изготавливались опытные образцы размером $30\times 10\times 17$ см. Влажность исходного древесного материала определялась весовым методом и составила для исходных образцов 14%. Опытные образцы помещались в сушильный шкаф и выдерживались в течение 6 ч при температуре 103°C , после чего взвешивались. Доведение массы образца до постоянного значения осуществлялось путем дальнейшей сушки и взвешивания через каждые 2 ч до момента достижения образца постоянной массы (влажность 2–3%). Средняя плотность древесины сосны, определенная по ГОСТ 16483.1–84, составила 520 кг/м^3 .

В качестве сырья для получения базальтовой составляющей наполнителя использовалась базальтовая крошка карьера Мяндуха (Плесецкий район, Архангельская обл.). Крошка предварительно измельчалась до размера 4 ± 1 мм и высушивалась до постоянной массы при температуре 105°C . В качестве других компонентов наполнителя использовались сапонит-содержащий материал (многоотнажный отход алмазодобывающей промышленности) и оксид кальция. Процесс диспергирования горных пород и контроль над степенью помола проводился на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 и анализаторе Delsa Nana Series Zeta Potential and Submicron Particle Size Analyzers [6]. Подготовка пропиточного состава (суспензии) по принятой рецептуре производилась в стеклянном сосуде цилиндрической формы объемом 50 л, оборудованном перемешивающим устройством – WiseStir® мешалкой вертикальной роторной (НТ-120АХ).

Основным базовым элементом автоклавной лабораторной установки послужил электрошкаф сушильный вакуумный ШСВ-65/3,5 производства ЗАО «МИУС» (Россия), оборудованный контрольно-измерительными приборами (блок управления, манометр), запорной арматурой, соединительными гибкими рукавами высокого давления, влагосборником, вакуумным насосом (модель Ultimate Vacuum). Удаление суспензии из внутреннего пространства в маневровую емкость после оконча-

Таблица 1

Продолжительность обработки, ч	Гигроскопичность, %	Теплопроводность $\pm 0,01$, Вт/(м·К)	
		при исходной влажности	при максимальной гигроскопичности
0	30 $\pm$ 6	0,23	0,25
1	12 $\pm$ 3	0,19	0,19
2	9 $\pm$ 2	0,17	0,17
3	7 $\pm$ 1	0,15	0,15
4	7 $\pm$ 1	0,15	0,15

Таблица 2

Время обработки, ч	Температура ± 2 , °C		Группа	
	воспламенения	самовоспламенения	горючести	воспламеняемости
0	230	230	Г4	В3
1	249	260	Г3	В2
2	251	268	Г3	В2
3	275	273	Г2	В2
4	277	273	Г2	В2

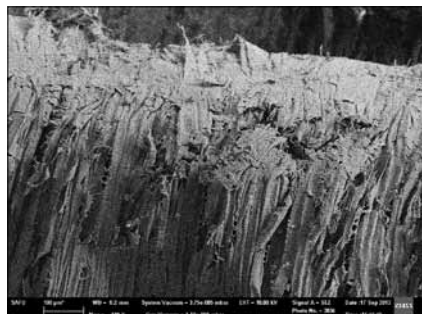


Рис. 1. Электронная фотография поперечного микросреза автоклавно-модифицированного образца древесины (100 мкм)

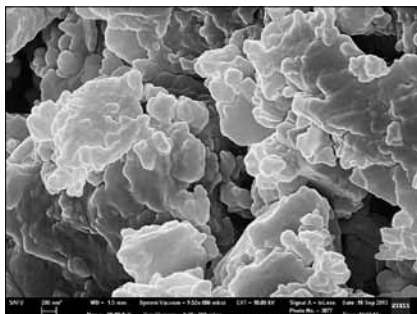


Рис. 2. Электронная фотография поверхностного слоя модификатора автоклавно-модифицированного образца древесины (200 мкм)

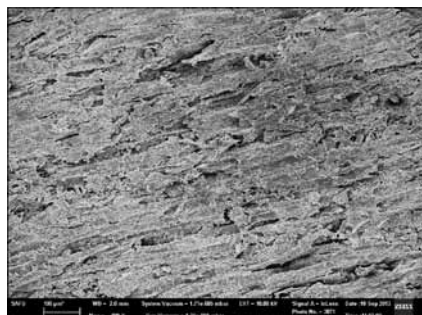


Рис. 3. Электронная фотография поверхности автоклавно-модифицированного образца древесины (100 мкм)

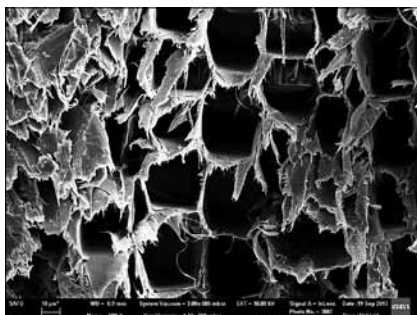


Рис. 4. Электронная фотография поверхности контрольного образца древесины сосны (10 мкм)

ния пропитки производилось с помощью перистальтического насоса (Masterflex model 77201-60).

После сушки образцы древесины укладывались в штабель в четыре ряда по два бруска в каждом, что обеспечивало более 80% площади открытой поверхности. Такой способ складирования позволяет на этапе разрядки извлечь большую часть остаточной связанной влаги из пор древесины, а в момент гидравлического удара при поступлении суспензии во внутреннюю среду автоклава за счет разрядки обеспечивает наиболее глубокое проникновение минеральных ком-

понентов в свободные поры древесины. Дополнительно в автоклав помещали фиксирующий зажим, исключающий всплытие древесины при заполнении внутреннего объема суспензией.

После герметизации установки вакуумным насосом в течение 3 мин создавали разряжение в автоклаве, равное 0,08 МПа. Выдержка опытных образцов древесины в разряженной среде проводилась 2 ч. По истечении данного периода в рабочую камеру автоклава подавали суспензию, которая заполняла весь свободный объем рабочей зоны, после чего насосом создавалось избыточное давление 1,6 МПа. Данный прием способствует более прочному закреплению краевольных частиц базальта в стенках пор древесины и созданию плотной пенки на поверхности.

Для определения оптимального времени выдержки образцов древесины в автоклаве варьировали продолжительность процесса от 1 до 4 ч с шагом в 1 ч, после чего производилось удаление суспензии из внутреннего пространства в маневровую емкость с помощью перистальтического насоса. По окончании пропитки образцы подвергались принудительной сушке в сушильном шкафу до постоянной массы.

Исследование поверхности опытных образцов древесины проводилось с помощью растровой электронной микроскопии в ЦКП САФУ «Арктика». Фотографии поверхности были получены на микроскопе SIGMA VP (ZEISS), причем для улучшения качества получаемых снимков каждый образец предварительно с помощью напылительной установки Q150T ES (Quorum) покрывался слоем смеси золота и палладия толщиной 5 нм. Затем образец помещался в рабочую камеру микроскопа. Для получения фотографий были подобраны следующие оптимальные параметры работы: ускоряющее напряжение электронной пушки 10 кВ; детектор, задействованный при получении изображения InLens.

Показатели пожароустойчивости (температуры воспламенения и самовоспламенения) модифицированных опытных образцов древесины определялись на испытательной установке «Воспламеняемость» по ГОСТ 30402–96 «Материалы строительные. Методы испытания на воспламеняемость» и ГОСТ 12.1.044–89 «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

Дополнительно были определены следующие физические характеристики исходных и модифицированных образцов древесины: гигроскопичности по ГОСТ 23409.10–78 «Смеси формовочные и стержневые. Метод определения гигроскопичности» и теплопро-

водность по ГОСТ 21523.3.2–93 «Древесина модифицированная. Метод определения теплопроводности», который предусматривает использование с этой целью прибора ИТ-λ-400.

В табл. 1 представлены экспериментальные результаты измерений гидрофизических свойств исходной и модифицированной древесины при различном времени выдержки образцов в реакционной зоне автоклава.

В табл. 2 приведены экспериментально определенные пожарно-технические характеристики опытных образцов древесины в зависимости от режимного временного фактора автоклавирования.

На рис. 1 приведена электронная фотография поперечного микросреза модифицированного образца древесины после трехчасовой обработки, которая показывает абсолютное заполнение пор и капилляров поверхности древесины твердой фазой суспензии на глубину 300–400 мкм. Электронная фотография поверхности автоклавно модифицированной древесины представлена на рис. 2, 3. На рис. 4 для сравнения приведена электронная фотография поверхности контрольного (не обработанного модификатором) образца.

Обсуждая результаты измерений гидрофизических характеристик при исходной влажности и максимальной гигроскопичности исследуемых образцов, можно сделать вывод, что при выдержке древесины в течение указанного времени происходит уменьшение гигроскопичности обработанных образцов с 30% (у необработанной древесины) до 7% (продолжительность выдержки в автоклаве 3–4 ч). Что касается теплофизических характеристик, то следует отметить незначительное увеличение теплопроводности необработанной древесины, насыщенной водой, по сравнению с образцом исходной влажности с 0,23 до 0,25 Вт/(м·К), т. е. на 8%. В то же время результаты по определению теплопроводности модифицированных образцов в состоянии исходной влажности и при максимальной гигроскопичности показали одинаковые значения данного параметра. Наилучшие результаты показали образцы, которые выдерживались в автоклаве в течение 3–4 ч. Однако после трехчасовой выдержки гидро- и теплофизические свойства древесины не изменяются, поэтому оптимальная продолжительность обработки составляет 3 ч.

Анализ полученных данных по пожарно-техническим характеристикам свидетельствуют о том, что образцы с модифицированной по сравнению с необработанной древесиной, улучшают свойства: по горючести – с группы Г4 (сильногорючие) до Г2 (умеренно горючие); по воспламеняемости – с группы В3 (легковоспламеняемые) до В2 (умеренно воспламеняемые).

Данные РЭМ показывают, что модифицированная поверхность образца древесины покрыта однородной пленкой заполнителя. Проведенные исследования показали возможность применения смеси, состоящей из базальта, сапонита и оксида кальция, для обработки поверхности древесины с целью улучшения огнезащитных свойств. При оптимальной продолжительности выдержки обработанной древесины в автоклаве на поверхности древесины образуется минеральный защитный слой из смеси базальта и сапонита, который проникает в поры древесины на 300–400 мкм. Предложенная модификация древесины позволяет улучшить ее пожарно-технические свойства и уменьшить гигроскопичность (с 30 до 7%), что, в свою очередь, приводит к увеличению срока службы конструкций и зданий из древесины. Следует также отметить, что минеральные наполнители базальт и сапонит являются природными материалами, не образующими при горении древесины токсичных веществ, что увеличивает экологичность обработанной древесины.

На данной стадии проектируется промышленная установка (автоклав) для обработки доски и каркаса пирса естественного водоема. Малая партия готовой продукции прошла успешную апробацию в качестве декоративной отделки помещения сауны, пожарной разделки между печью-каменкой и стеной бревенчатой бани.

Ключевые слова: микродисперсный наполнитель, базальт, сапонит, огнезащитные свойства, гигроскопичность, теплопроводность.

Список литературы

1. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. Монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.
2. Петрова Е.А. Снижение горючести древесины // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 59–61.
3. Новицкий Г.И., Строгов В.В. Деревопропиточные заводы. М.: Трансжелдориздат, 1959. 316 с.
4. Стенин А.А., Айзеништадт А.М. Модификация поверхности древесного строительного материала минеральным наполнителем // XXII Slovak – Polish – Russian Seminar «Theoretical Foundation of Civil Engineering», Slovakia. 2013. С. 587–592.
5. Стенин А.А., Тутыгин А.С., Фролова М.А., Айзеништадт А.М., Махова Т.А., Лесовик В.С. Способ обработки строительных материалов из древесины. Патент РФ № 2466861. Оpubл. 20.11.2012 Бюл. № 32.
6. Айзеништадт А.М., Махова Т.А., Фролова М.А., Тутыгин А.С., Стенин А.А., Попова М.А. Проектирование состава нано- и микроструктурированных строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 10. С. 14–18.

И.М. БАРАНОВ, канд. техн. наук, Р.К. ЮСУПОВ, канд. хим. наук,
А.С. ТАРАСОВ, канд. техн. наук, Н.И. СОЛДАТОВА, инженер, ООО «НТЦ ЭМИТ» (Москва)

Реальности и перспективы повышения прочности особо прочных бетонов

Способность сопротивляться механическим воздействиям, т. е. обладать необходимой прочностью — одно из основных свойств любого устройства, конструкции, материала. Об этом не устал повторять видный отечественный физикохимик П.А. Ребиндер — основоположник нового раздела физико-химической науки — физико-химической механики [1]. Один из соавторов статьи имел честь знать лично Петра Александровича и помнит, как он нередко, доставая из кармана авторучку, говорил: «Ее назначение — писать, но если при письме она рассыпается в руке, то не сможет выполнить своего назначения».

Основная задача, которую решает физико-химическая механика, состоит в установлении количественных взаимосвязей между реологическими и механическими свойствами жидкообразных структур и твердых тел, с одной стороны, и их физико-химическими характеристиками — с другой. Решению этой задачи, в том числе применительно к процессам, происходящим при гидратационном твердении минеральных вяжущих веществ, посвящены многочисленные исследования [2]. В этих исследованиях дисперсных структур центральное место занимает изучение перехода жидкообразных систем, формирующихся при смешивании дисперсии минерального вяжущего вещества с водой, в твердообразное состояние. Физико-химическая механика связывает затвердевание водных дисперсий минеральных вяжущих веществ с принципиальным изменением характера дисперсных структур, происходящим при развитии процессов гидратации, а именно: переходом структур коагуляционного типа, обладающих свойством тиксотропии, т. е. обратимо разрушающихся, что придает системе свойство формуемости, в значительно более прочные и необратимо разрушающиеся кристаллизационные структуры [3]. В основе физико-химического механизма этого перехода лежит столь же коренное изменение характера контактных взаимодействий между частицами дисперсной фазы — переход контактов коагуляционного типа в фазовые кристаллизационные контакты [4].

Эти представления физико-химической механики дисперсных структур явились основанием для применения физико-химической теории прочности относительно цементного бетона [5]. Среди результатов этой разработки можно выделить прогнозирование теоретически достижимых, предельно возможных значений прочности. Соответствующие количественные оценки показали, что при обеспечении высокой дисперсности твердых ингредиентов (цемент, активные минеральные добавки, инертный заполнитель) и их плотной упаковке (низкие В/Ц) в принципе может быть получен бетон с пределом прочности при сжатии в 1000–1500 МПа.

Повышение прочности бетона уже давно находится в центре внимания специалистов бетоноведческой науки. Первые успехи в этом направлении связаны с применением эффективных водопонижающих добавок —

суперпластификаторов, что позволило получать бетоны с пределом прочности при сжатии 80 МПа и более [6]. Дальнейший прогресс был обеспечен благодаря разработке вяжущих низкой водопотребности, обусловивших увеличение прочности бетона до значений выше 100 МПа [7].

В формировании современного состояния проблематики высокопрочных бетонов ведущую роль сыграли зарубежные исследователи. К настоящему времени разработаны так называемые Ultra High Performance Concrete (UHPC), что может быть переведено на русский язык как бетоны высочайшей степени совершенства [8–11]. Эти бетоны характеризуются прочностью при сжатии в пределах 150–250 МПа, а в отдельных экспериментах была зафиксирована прочность до 600 МПа. Базовым представлением зарубежного опыта является тезис о том, что неизменными, обязательными компонентами при получении высокопрочных бетонов должны быть, помимо цемента и заполнителя, эффективная пластифицирующая добавка и микрокремнезем. Особенностью микрокремнезема, формирующегося в результате конденсации из газовой фазы и представляющего собой аморфную форму двуокиси кремния с размером частиц около 0,1 мкм (100 нм), является очень высокая пуццолановая активность.

Другое столь же важное представление зарубежного опыта о принципах получения высокопрочных бетонов состоит в отказе от применения крупного заполнителя. Считается, что слабым звеном традиционного бетона (на крупном заполнителе) является контактная зона щебня с растворной частью бетона. Соответственно там зарождаются трещины, лимитирующие прочность.

В данной работе этот анализ физико-химических предпосылок и передового опыта явился основанием для разработки условий и принципов получения высокопрочного бетона, содержащим:

1. Общие принципы получения:
 - применение пластификаторов (супер- и гипер-), снижающих значения В/Ц до 0,3;
 - применение высокоактивных пуццолановых добавок;
 - применение наполнителей, в том числе тонкомолотых, с высокой прочностью (гранит, диабаз и др.);
 - применение малой крупности зерен заполнителей;
 - снижение (минимизация) дефектов структуры;
 - повышение плотности за счет снижения объема воздушных пор и улучшения однородности структуры бетона;
 - снижение усадки;
 - применение активации вяжущего, песка и интенсивного способа перемешивания смеси с помощью высокоэнергетических аппаратов.
2. Требования к материалам.
 - 2.1. Требования к цементу:
 - C_3A — менее 5%;
 - водопотребность — менее 0,25;
 - применение бездобавочного цемента М500 Д0;

Таблица 1

Вид материала	Расход, кг/м ³
Портландцемент М500Д0 различных заводов-производителей: – ОАО «Мордовцемент» – ОАО «Красносельскстройматериалы» – ЗАО «Мальцовский портландцемент» – ОАО «Новотроицкий цементный завод» – ОАО «Вольскцемент» – ЗАО «Осколцемент» – ЗАО «Белгородский цемент» – ООО «Тульский цементный завод»	620–940
Портландцемент М400Д20 – ОАО «Воскресенскцемент»	730
Расширяющая добавка РД-н	110
Микрокремнезем марок МК-85 и МКУ-85 (компания «Сибирь»)	120–360
Зола-унос ТЭЦ-22, метаксаолин	170–250
Гель кремниевой кислоты	30–45
Диабазовая мука	170–250
Песок кварцевый (фракции 0,3–0,6 мм, 0,4–0,8 мм, 0,315–1,25 мм, 0,8–3 мм)	770–1100
Щебень гранитный (фракции 3–10 мм)	960–1240
Стеклясфера (для приготовления легкого бетона)	200
Фибра: – полипропиленовая – базальтовая – стальная	3–20 10–20 40–150
Пластификаторы: – Viscocrete 25RU, Viscocrete 5NEW – Melflux 5581F, 6681F, PP 100F – Alphalith Hyperflow 2025 FM и 2030 LS FM – Одолит марок К и Т – Muraplast FK 63 и MC-Powerflow 1180, 2695, 3100 – Глениум марок 115, СКАЙ 591, 51 – FOX-8H – С-3	8–21
Полимерное связующее (акриловая эмульсия «Лакротэн Э-52Б»)	3–5
Вода	110–190

- сочетаемость с пластификаторами;
- низкая экзотермия.

2.2. Требования к щебню (гранитный, базальтовый, габбро):

- фракция 2–8 мм, предпочтительно 2–3 мм;
- низкое содержание щелочей;
- низкое содержание фракций менее 0,125 мм.

2.3. Требования к песку:

- фракция 0,15–0,6 мм, предпочтительно 0,1–0,4 мм;
- низкое содержание щелочей.

2.4. Требования к дисперсным волокнам:

- длина 6 и 12 мм минеральных и стальных волокон;
- дозировка минеральных волокон до 3 и более %, а стальных не более 5%.

2.5. Требования к кремнеземистым добавкам.

2.5.1. Требования к тонкодисперсным добавкам:

- содержание пыли с размером частиц 1–5 мкм до 30% в пуццолановых добавках (кислая зола-унос, метаксаолин);
- обязательное применение тонкодисперсных фракций микрокремнезема с размером частиц 0,1–0,2 мкм – вводится до 30% к цементу;
- применение геля или золя кремнезема.

2.5.2. Требования к тонкомолотым добавкам:

- применение тонкомолотых фракций с размером частиц 5–25 мкм (каменная мука – диабазовая, кварцевая – вводится до 50–70% к цементу).

Примечания:

- кремнеземистые тонкомолотые добавки применяются для обеспечения заполнения пор между частицами цемента, улучшения реологических свойств бетонной смеси, интенсификации процессов структурообразования за счет вторичных продуктов гидратации благодаря пуццолановой реакции с портландитом;
- рекомендуемое соотношение между микрокремнеземом и золой-уноса – 1:1.

2.6. Требования к пластификаторам:

- сочетание с цементом;
- разжижающее действие;
- сохраняемость бетонной смеси;
- отсутствие замедляющего действия добавок на гидратацию цемента.

При выборе пластифицирующих добавок контролируется:

- снижение водопотребности (водоредуцирование >30%);
- повышение подвижности;
- сохраняемость бетонной смеси.

2.7. Требования к технологии:

- постоянный контроль влажности заполнителей;
- высокая точность дозировки;
- использование смесителей с высокой интенсивностью смешивания;
- учет времени транспортировки, т. е. обеспечение требуемой сохраняемости смеси;
- определение правил дополнительной дозировки пластификатора на строительной площадке;
- обеспечение требуемой подвижности смеси;
- влажностный уход за бетоном в первые 3 сут;
- применение микродобавок, содержащих свободную воду, для уменьшения аутогенной усадки и трещинообразования в начальные сроки твердения;
- необходимость применения полимеров, обладающих высокой абсорбирующей способностью и играющих роль накопителей влаги, что диктует целесообразность применения полимеров в виде порошка;
- применение фибры.

Разработанные и изложенные выше условия и принципы получения высокопрочных бетонов, представления, сформированные в рамках физико-химической механики дисперсных структур применительно к цементным системам (бетонам), а также последние достижения бетоноведческой науки на данном направлении, прежде всего зарубежные, послужили основанием для подготовки своих методик для решения задач гидротехнического строительства в нашей стране. Они использовались, дополнялись и совершенствовались применительно к отечественной практике строительства. При этом основное внимание уделялось высокопрочным бетонам общего назначения. Вместе с тем разрабатывали и специальные виды высокопрочных бетонов – торкрет-бетоны, бетон для подводного бетонирования, ремонтные составы бетона, легкие бетоны повышенной прочности [12].

В этой работе при решении поставленных задач к известным уже условиям и принципам получения высокопрочных бетонов добавились еще и другие принципы:

- применение специально разработанных смесителей с изменяемыми оборотами рабочего органа и высокоэнергетическим воздействием на бетонную смесь

Таблица 2

Наименование показателей	Строительно-технические свойства		
	Мелкозернистый тяжелый бетон	Тяжелый бетон с крупным заполнителем	Легкий мелкозернистый бетон
Консистенция бетонной смеси, см, по: – погружению конуса СтройЦНИЛ, – осадке стандартного конуса	8–12 –	– 14–19	8–12 –
Плотность бетона, кг/м ³	2350–2450	2450–2550	1600–1650
Предел прочности при сжатии после твердения 28 сут в камере нормального твердения, МПа	140–190	130–140	70–85
Предел прочности на растяжение при изгибе после твердения 28 сут в камере нормального твердения, МПа, для: – неармированного бетона – дисперсно-армированного бетона	25–30 35–45	20–25 –	10–15 –
Коэффициент призмочной прочности	0,80–0,85	–	–
Морозостойкость, цикл	800–1000	–	–
Водопоглощение, %	0,3	–	1–2
Водонепроницаемость, ати	18	–	–
Коэффициент конструктивного качества, $R_{сж}/\text{плотность}$	0,77	0,55	0,51

(смеситель-дезинтегратор и смеситель-активатор), обеспечивая при этом ее:

- высокоэффективное перемешивание, активацию и равномерное распределение по объему дисперсно-армирующих волокон;
- вакуумирование для повышения плотности, уменьшения капиллярной и воздушной пористости;
- выгрузку и подачу к месту укладки с помощью сжатого воздуха;
- определение последовательности загрузки компонентов смеси и соответствующей продолжительности смешивания;
- снижение хрупкости бетона путем введения в его состав эластичного и водостойкого полимерного связующего;
- использование специально разработанной практической методики определения рационального состава бетона по содержанию и соотношению заполнителей [13];
- использование специально разработанной методики оценки свойств бетонных смесей специальных бетонов по реологическим характеристикам [14].

Перечень использованных в работе материалов представлен в табл. 1; там же приведены и базовые составы разрабатываемых материалов, а их строительно-технические свойства приведены в табл. 2. Консистенция смесей, результаты испытаний которых приведены в табл. 2, составляет 8–19 см погружения конуса СтройЦНИЛа. Прочность бетона при сжатии после 28 сут твердения образцов в камере нормального твердения – 140–190 МПа.

Однако кроме традиционной технологии получения высокопрочного тяжелого бетона из пластичной смеси в наших исследованиях разрабатывалась и технология торкрет-бетонирования.

Торкретирование с каждым годом расширяет область своего применения, в числе которых: изготовление геометрически сложных конструкций (оболочки, сваи, бассейны), строительство элементов гидротехнических сооружений, восстановление и усиление строительных конструкций (в том числе гидротехнических, мостовых), устройство тоннелей.

Свои научно-экспериментальные исследования по разработке высокопрочного торкрет-бетона проводили путем разработки составов для нанесения мелкозерни-

стой бетонной смеси методом торкретирования мокрым способом с подачей ускорителя схватывания в жидком виде непосредственно в сопло.

Основные преимущества мокрого способа перед сухим заключаются в получении бетонов с повышенными физико-механическими характеристиками за счет предварительного приготовления смесей в эффективных смесителях, в том числе активаторах, с постоянным расходом воды, в возможности вводить в составы смесей суспензии, любые современные добавки в сухом и жидком виде (гиперпластификаторы, стабилизаторы, полимерные дисперсии и т. д.), в сокращении отскока до 5%. Именно мокрый способ позволяет улучшить свойства за счет применения комплекса добавок, методик рационального подбора составов, эффективных смесителей, обеспечивая однородность состава смеси и свойств бетона при большой производительности выполняемых торкрет-работ.

В основном свойства применяемых смесей для торкретирования на сегодняшний день ограничены значениями показателей по прочности 70 МПа, водонепроницаемости W16, морозостойкости F300. Разработанные составы мелкозернистых смесей позволяют получать бетоны с прочностью до 130 МПа, морозостойкостью до 1000 циклов, водонепроницаемостью W20, адгезией к основанию не менее 3 МПа, водопоглощением менее 1%.

Применение особо прочных бетонов и торкрет-бетонов с такими высокими свойствами позволит решать специальные задачи при возведении и восстановлении железобетонных конструкций различного назначения, в том числе и особо ответственных, требующих высокотехнологичных методов и бетонов.

Достигнутый уровень прочностных показателей, конечно, не является предельным. Есть все основания полагать, что он может быть значительно повышен. Это направление исследований является одним из приоритетных в дальнейшей работе.

Применительно к вопросам практической реализации теоретических представлений о возможности повышения прочности особо прочного бетона в направлении достижения им предельно возможных значений прочности следует сказать, что в основном это уже вопросы нанотехнологий.

Реализация в полной мере изложенных ранее условий и принципов получения высокопрочного бетона, как это мы понимаем, решает проблему формирования особо плотной его структуры только на макроуровне, а на микроуровне повышать прочность можно только с использованием нанотехнологий. Но на этом уровне можно будет работать, когда все будет реализовано на макроуровне.

Свое поле деятельности на следующем этапе работы мы видим в следующих направлениях:

- изучение возможности применения смачивающих добавок и добавок, повышающих растворимость CaO и SiO_2 ;
- изучение возможности увеличения в затвердевшем бетоне доли тоберморитовой и цеолитовой составляющих;
- разработка композиционных дисперсно-армированных минерал-полимерных материалов.

Ключевые слова: особо прочные бетоны, микрокремнезем, повышение прочности, модификация.

Список литературы

1. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. С. 381.
2. Ребиндер П.А., Сегалова Е.Е., Амелина Е.А. и др. Физико-химические основы гидратационного твердения вяжущих веществ // VI Международный конгресс по химии цемента: Тез. докл. Т. 2. 1976. С. 58–64.
3. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. М.: Наука, 1966, 399 с.
4. Shchukin E.D., Amelina E.A. Contact interaction in disperse systems. Advances in colloid and interfacial science. 11.3.1979. P. 235–239.
5. Юсупов Р.К. Физико-химическая теория прочности бетонов. II Всероссийская (международная) конференция по бетону и железобетону: Бетон и железобетоны — пути развития. Москва. 5–9 сентября 2005 г. Т. 3. С. 623–630.
6. Иванов Ф.М., Батраков В.Г., Силина Е.С., Файнер М.Ш. Суперпластификатор для получения высокопрочных бетонов // Промышленное строительство и инженерные сооружения. 1980. № 4. С. 34–35.
7. Батраков В.Г., Бабаев Ш.Т., Башлыков Н.Ф., Фаликман В.Р. Бетоны на вяжущих с низкой водопотребностью // Бетон и железобетон. 1988. № 11. С. 4–6.
8. Thomas L. Vaande Voort, Muhannad T. Suleman, Sri Sriharan. Design and Performance Verification of UHPC Piles for Deep Foundations // Final Report. November. 2008.
9. Dean Bierwagen, Ahmad Abu-Hawash. Proceedings of the 2005 Mid Continent Transportation Research Symposium. Ames. Iowa. August. 2005.
10. Ben Straybeal. Ultra-High Performance Concrete // Technical Note. March. 2001.
11. Victor Y. Garas. Creep of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) // CEE 8813. 04/13/2007.
12. Баранов И.М. Инновационные материалы для строительства и ремонта мостов // Строительные материалы. 2013. № 3. С. 82–86.
13. Баранов И.М. Практическая методика определения рациональных составов специальных бетонов // Строительные материалы. 2012. № 7. С. 87–93.
14. Баранов И.М. Проблемные вопросы технологии получения высококачественных специальных бетонов // Строительные материалы. 2013. № 7. С. 31–32.



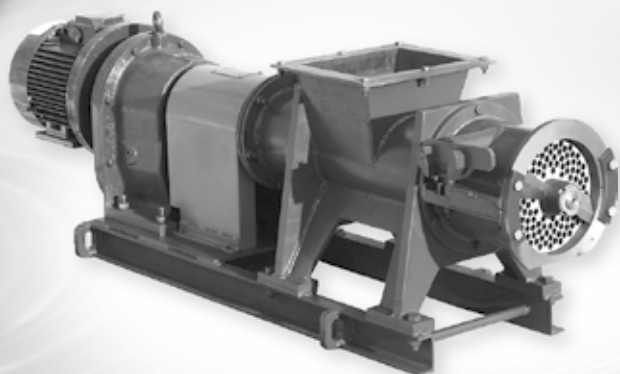
**ТОРГОВЫЙ ДОМ
ИНТА-СТРОЙ**

ООО «ТД «ИНТА-СТРОЙ», 644113, Омск, ул. 1-я Путевая, 100
Тел.: (3812) 35 65 44, 35 65 45, E-mail: info@inta.ru, Http: www.inta.ru

Реклама

ОБОРУДОВАНИЕ «ИНТА-СТРОЙ» ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫЙ СМЕСИТЕЛЬ «КАСКАД-4»



Основные характеристики:

- производительность, кг/ч — 600;
- установленная мощность, кВт — 7,5;

- габариты (дл., шир., выс.), мм — 2009, 469, 555;
- масса, кг — 425.

Назначение:

- Подготовка сырья в небольших объемах для производства керамики.
- «Каскад-4» может использоваться в других отраслях, где необходимо тщательное смешение компонентов с высокой степенью гомогенизации.

Преимущества:

- глубокая переработка сырья;
- высокая степень гомогенизации;
- улучшение характеристик сырья;
- гранулирование;
- получение окрашенных смесей;
- возможность использования отходов (зола ТЭЦ, граншлак и пр.)

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

А.А. КИРСАНОВА, инженер, Л.Я. КРАМАР, д-р техн. наук, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск)

Органоминеральные модификаторы на основе метакеолина для цементных бетонов

Современное производство строительных материалов невозможно представить без применения модификаторов, позволяющих получать высокоэффективные цементные бетоны. К наиболее известным добавкам-модификаторам цементных бетонов относят пластификаторы, ускорители схватывания и твердения, активные минеральные добавки и др. [1]. Применение нескольких добавок в комплексе дает возможность добиться полифункционального эффекта.

Известно [2], что введение добавок-суперпластификаторов приводит к снижению водопотребности цемента, уплотнению структуры цементного камня за счет снижения пористости, некоторому ускорению процессов гидратации и твердения портландцементов, изменению степени закристаллизованности структуры и ее стойкости к воздействию окружающей среды. Для обеспечения более активной гидратации и твердения цементного теста и бетона в нормальных условиях необходимо применение добавок-ускорителей, воздействующих на основные клинкерные минералы, особенно на C_3S и $\beta\text{-}C_2S$. В качестве добавок-ускорителей особый интерес представляют высокоактивные минеральные добавки, такие как метакеолин, микрокремнезем и др. [3, 4]. При этом для получения не только быстротвердеющих, но и долговечных, высокопрочных бетонов необходимо применение комплексных добавок.

Известно, что добавки-ускорители, особенно минерального происхождения (метакеолин, микрокремнезем), необходимо применять совместно с водоредуцирующими для обеспечения снижения В/Ц и получения необходимой подвижности смеси. Выявлено [6], что метакеолин в отличие от утверждений многих авторов [3, 5, 7] следует вводить не более 3% от массы вяжущего, чтобы избежать коррозии цементного камня и процессов перекристаллизации нестабильных гидроалюминатов, формирующихся при избытке алюминатов в цементе и приводящих к снижению прочности бетона при переходе в стабильное состояние на более поздних сроках (3–6 мес) твердения. В результате проведенных исследований разработаны со-

вместно с ЗАО «Пласт-Рифей» комплексные органоминеральные добавки — ускорители и модификаторы цементных бетонов высокой коррозионной стойкости.

Целью настоящего исследования стала оценка влияния органоминеральных добавок на основе метакеолина на свойства и долговечность цементных бетонов.

Для проведения экспериментов использованы добавки У-ЖЛ (ускоритель для цементных бетонов), УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ (ускорители с модифицирующим действием для цементных бетонов), которые включают минеральную и органическую составляющую в различных дозировках. Минеральная часть состоит из метакеолина или его смеси с микрокремнеземом. Органическая часть модификатора содержит суперпластификатор СП-1. Ранее проведенными исследованиями установлены дозировки добавок для бетонов, рассчитанных на массу вяжущего: У-ЖЛ — до 3,5%, УМ-ЖЛ — до 9%, УМД-ЖЛ — до 12 %.

В работе использовали: метакеолин (МКЖЛ) производства ЗАО «Пласт-Рифей», ТУ 5729-095-51460677–2009; гранулированный микрокремнезем (г. Новокузнецк Кемеровской обл.), ТУ 5743-048-02495332–96; суперпластификатор СП-1 производства ОАО «Полипласт», ТУ 5870-005-58042865–2005; цемент производства ЗАО «Невьянский цементник» марки ПЦ 500Д0 с НГ 24%.

Все исследования проводились на цементных образцах-кубах с реб-

ром 2 см и тяжелых бетонах, твердевших при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$, влажностью 95–100%.

Физико-механические свойства цементного камня на тесте НГ оценивали по изменению прочности и открытой пористости. Влияние комплексных добавок на структурные характеристики цементного камня определяли по изменению удельной поверхности гидратных новообразований методом БЭТ; фазовый состав — с помощью ДТА на дериватографе системы LuxxSTA 409; РФА — на дифрактометре ДРОН-3М, модернизированном приставкой PDWin, с помощью электронной микроскопии — на растровом электронном микроскопе JeolJSM–700 1F. Исследование цементно-песчаных образцов на стойкость к сульфатной коррозии проводили согласно ГОСТ 25881–83 «Бетоны химически стойкие. Методы испытаний» в среде сульфатов с концентрацией 10 г/л. Морозостойкость определяли в соответствии с ГОСТ 10060.2–95 «Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многовариантном замораживании и оттаивании» третьим ускоренным методом с замораживанием образцов до -50°C , в 5% растворе водного хлористого натрия.

Применение добавки У-ЖЛ существенно влияет на изменение сроков схватывания цемента за счет совместного использования метакеолина, который является ускорителем схватывания [1, 3, 6], суперпластификатора СП-1, приводящего к некоторому замедлению сроков цемента.

Введение добавок УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ приводит к уплотнению цементного теста в связи с их высокой дисперсностью и повышенны-

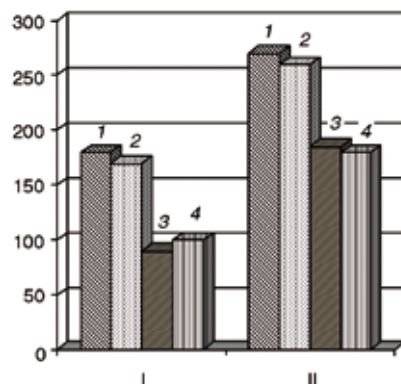


Рис. 1. Сроки схватывания цементного камня: I — начало схватывания; II — конец схватывания; 1 — бездобавочный состав; 2 — У-ЖЛ; 3 — УМ-ЖЛ; 4 — УМД-ЖЛ

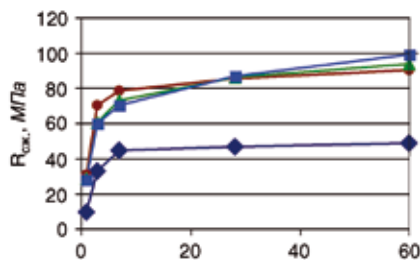


Рис. 2. Прочность при сжатии цементного камня: — УМД-ЖЛ; — УМ-ЖЛ; — У-ЖЛ; — контрольный состав

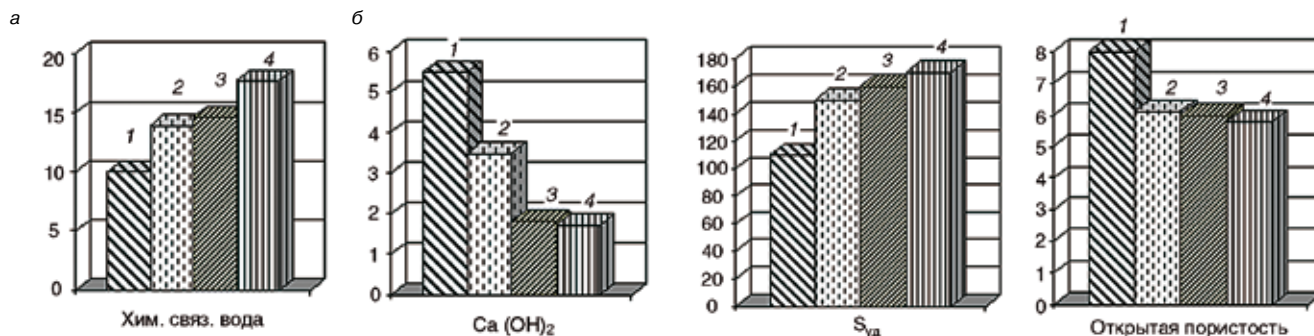


Рис. 3. Содержание химически связанной воды (а), %, Са(ОН)₂ (б), % от массы цементного камня: 1 – бездобавочный состав; 2 – У-ЖЛ; 3 – УМ-ЖЛ; 4 – УМД-ЖЛ

Рис. 4. Удельная поверхность (м²/г) и открытая пористость (%) формирующегося цементного камня: 1 – бездобавочный состав; 2 – У-ЖЛ; 3 – УМ-ЖЛ; 4 – УМД-ЖЛ

ми дозировками, а также к ускорению накопления ионов кальция в жидкой фазе в начальный период, что активирует гидролиз клинкерных составляющих цемента (рис. 1). Совместное применение метакрилатов и микрокремнезема приводит к некоторому замедлению начала схватывания цементного теста, что происходит за счет увеличения в жидкой фазе содержания геля кремнезема, снижающего рН среды.

Введение органоминеральной комплексной добавки У-ЖЛ приводит к получению марочной прочности на третьи сутки твердения, к 7 сут прочность выше марочной на 40%, а к 28 сут прочность выше на 80% в сравнении с бездобавочным составом. Органоминеральные модификаторы УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ несколько снижают прирост прочности в начальные сроки, однако уже в возрасте 28 сут прочностные характеристики цементного камня сопоставимы с результатами, полученными на У-ЖЛ, а в более поздние сроки прочность возрастает на 10% (рис. 2).

Добавка УМД-ЖЛ с повышенным содержанием активного кремнезема несколько снижает скорость набора прочности цементного камня, что, вероятно, связано с замедлением процесса гидратации при повышенном содержании суперпластификатора, а также с образованием дефицита ионов кальция, так как входящие в комплекс активные минеральные добавки (АМД) его поглощают.

Для уточнения влияния добавок на фазовый состав получаемого цементного камня использовали ДТА и РФА.

Согласно данным ДТА введение добавок У-ЖЛ, УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ способствует образованию в цементном камне гидратных фаз с повышенным содержанием химически связанной воды, снижению до 70% содержания гидроксида кальция по сравнению с бездобавочным составом (рис. 3).

Данные ДТА позволили установить, что применение органоминерального комплекса У-ЖЛ к 60 сут твердения приводит к формирова-

нию цементного камня из высокоосновного гидросиликатного геля типа С-S-H(II) (эндоэффект при 164 и 775°C), низкоосновного геля С-S-H(I) (эндоэффект при 215°C, экзоэффект при 830°C) и гидроксида кальция (потери при 490°C), стабильных закристаллизованных кубических гидроалюминатов типа C_3AH_6 (потери при 325–400°C, эндоэффект при 490°C) с присутствием незначительного количества метастабильных гидроалюминатов кальция, таких как C_4AH_{19} (с эндоэффектами при 130 и 215°C), и низкоосновных ГСК типа $C_3S_6H_6$ (эндоэффект при 775°C).

Введение УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ приводит к более существенному изменению фазового состава цементного камня, который представлен в равной степени гелевыми фазами С-S-H(II) и С-S-H(I) фазами при использовании добавки УМ-ЖЛ и с повышением доли низкоосновного геля С-S-H(I) для УМД-ЖЛ (увеличение экзоэффекта при 830°C), стабильными гидроалюминатами – кубическими C_3AH_6 и гексагональными CAH_{10} (потери при 164 и 215°C и экзоэффект при 910°C), а также гидрогранатами C_3ASH_4 (эндоэффект при 490°C), которые в дальнейшем с изменением щелочности среды не подвергаются процессам перекристаллизации и способствуют повышению прочности камня.

Снижение интенсивности и практически исчезновение пиков, принадлежащих C_3S $d/n=3,02 \text{ \AA}$ и $\beta-C_2S$ $d/n=2,87 \text{ \AA}$, подтверждает ускорение гидратации главных минералов. Перераспределение на рентгенограммах интенсивности пиков $d/n=3,07 \text{ \AA}$ и $d/n=2,81 \text{ \AA}$ при увеличении доли активного кремнезема свидетельствует о снижении в цементном камне содержания высокоосновных и увеличении низкоосновных гидросиликатов кальция.

Применение мелкодисперсных добавок приводит к созданию уплотненной среды, за счет чего происходит направленное изменение структуры формирующегося

цементного камня [3]. Исследование его структуры выявило, что введение У-ЖЛ, УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ приводит к увеличению удельной поверхности новообразований цементного камня и снижению его открытой пористости по сравнению с контрольным составом (рис. 4). Так, введение комплекса У-ЖЛ увеличивает удельную поверхность камня на 36% и снижает пористость на 24%; УМ-ЖЛ повышает удельную поверхность на 45% и снижает открытую пористость на 25%. Комплекс УМД-ЖЛ способствует дальнейшему увеличению $S_{уд}$ новообразований до 55% и снижению открытой пористости до 27%. Можно сделать вывод, что наиболее плотный цементный камень с высокой удельной поверхностью и низкой открытой пористостью получается с органоминеральной комплексной добавкой УМД-ЖЛ.

Исследование цементного камня методом электронной микроскопии подтвердило результаты ДТА и РФА. Структура цементного камня с применением модификаторов более однородная и плотная (рис. 5). Применение добавок УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ способствует формированию цементного камня преимущественно из низкоосновных гидросиликатов кальция и стабильных гидроалюминатов.

Таким образом, добавка-модификатор У-ЖЛ является ускорителем гидратации и твердения цемента в нормальных условиях, так как уже в первые сутки твердения позволяет получать цементный камень с прочностью до 60% от марочной в сравнении с бездобавочным и повысить прочность на 80% по сравнению с контрольным составом за счет увеличения степени гидратации и изменения фазового состава.

Действие добавок УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ в начальные сроки твердения на гидратацию и прирост прочности до 3 сут изменяется незначительно, но в более поздние сроки (60 сут) прочность увеличивается на 10% по сравнению с добавкой У-ЖЛ.

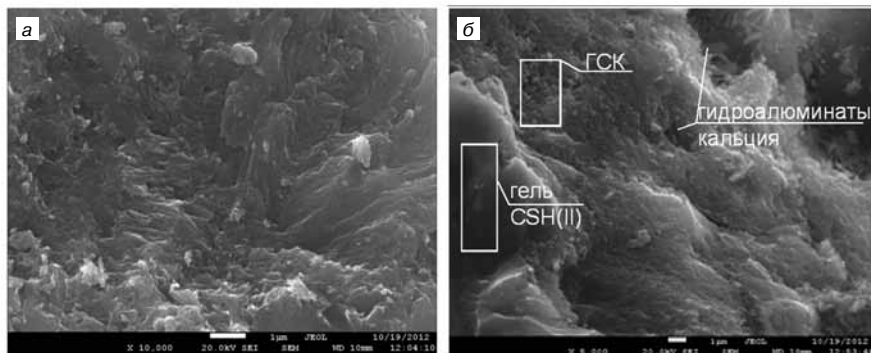


Рис. 5. Структура цементного камня с модификатором: а – У-ЖЛ; б – УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ

Дополнительные исследования возможности применения представленных добавок для других видов цемента позволили установить, что У-ЖЛ и УМ-ЖЛ (дозировка 6–7%) эффективны и для шлакопортландцементов ШПЦ300 и ШПЦ400, а добавку УМД-ЖЛ рационально использовать для получения высокоэффективных изделий на портландцементе.

В соответствии с ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» был изготовлен тяжелый бетон на портландцементе и с применением предлагаемых комплексных добавок. Бетонная смесь характеризовалась подвижностью П2 и включала: портландцемент – 350 кг/м³; песок кварцевый с $M_k = 2–3$ – 650 кг/м³; щебень фракции 5–20 мм с минимальной пустотностью 1050 кг/м³. Бетон твердел и набирал прочность в нормальных условиях. Результаты прочностных характеристик бетона в марочном возрасте подтверждают ранее полученные на цементном камне (рис. 6).

Изучение водонепроницаемости бетона выявило значительное влияние комплексных добавок на его уплотнение за счет дополнительной гидратации цемента и увеличения гидратных фаз в цементном камне, что эффективно повлияло на пористость и обеспечило бетону водонепроницаемость при введении У-ЖЛ до W18, а при использовании добавок УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ – более W20. Результаты испытаний цементно-песчаных образцов на стойкость к сульфатной коррозии показали, что использование добавки У-ЖЛ не

снижает сульфатостойкости портландских цементов (коэффициент химической стойкости $K_{х.с.} = 0,62$ после 3 мес испытаний); образцы на портландцементе после 1 мес характеризовались $K_{х.с.} = 0,8$. Применение добавок УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ переводит портландцемент в разряд сульфатостойких. Испытания в течение 12 мес не выявили изменений в прочностных характеристиках исследуемых образцов ($K_{х.с.} = 0,99–1$), в составе цементного камня не наблюдалось уменьшения содержания гидроксида кальция, содержание SO_3^{2-} в цементном камне осталось на одном уровне.

Исследования бетонов на морозостойкость подтверждают данные по водонепроницаемости. Разработанные комплексные добавки-модификаторы позволяют значительно повысить морозостойкость бетонов. Так, введение У-ЖЛ повышает морозостойкость в три раза на портландцементе по сравнению с бездобавочным составом, а применение добавок УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ позволяет получать бетоны с морозостойкостью марок F800 и выше (рис. 7).

Проведенные исследования позволили сделать ряд выводов:

- разработанные добавки могут использоваться для ускорения твердения бетона в нормальных условиях, повышения прочности в начальные сроки твердения и в марочном возрасте, для экономии цемента, незначительного повышения марки по водонепроницаемости и морозостойкости (У-ЖЛ, УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ), для модифицирования структуры цементного камня с целью получения высокой водонепроницаемости, морозостойкости, сульфатостойкости и др. (УМ-ЖЛ и УМД-ЖЛ), для получения высокоэффективных и специальных бетонов с высокими показателями долговечности (УМД-ЖЛ);

- разработанные комплексные органоминеральные добавки рекомендуются применять для производства высокоэффективных бетонов для гидротехнических сооружений, дорожного строительства, в мостостроении, при возведении промышленных

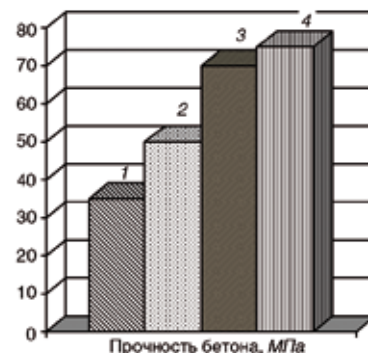


Рис. 6. Прочность бетона с комплексными добавками в марочном возрасте, МПа: 1 – бездобавочный состав; 2 – У-ЖЛ; 3 – УМ-ЖЛ; 4 – УМД-ЖЛ

и уникальных зданий и сооружений, в монолитном строительстве, в подземном строительстве и др.;

– добавки разработаны для портландцементов, однако возможно применение на шлакопортландцементе марок ШПЦ300 и ШПЦ400.

Ключевые слова: цементные бетоны, добавки-модификаторы, метакраин, микрокремнезем, ускорители гидратации и твердения, коррозионная стойкость.

Список литературы

1. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Гамалий Е.А., Черных Т.Н., Зимич В.В. Модификаторы цементных бетонов и растворов (технические характеристики и механизм действия). Челябинск: ООО «Искра-Профи», 2012. 202 с.
2. Сватовская Л.Б., Сычев М.М. Активированное твердение цементов. Л.: Стройиздат, 1983. 160 с.
3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М: Технопроект, 1996. 768 с.
4. Janotka I., Puertas F., Palacios M., Kuliffayova M., Varga, C. Metakaolin sandblended-cementpastes: rheology, hydration process and mechanical properties // Construction and building materials. 2010. № 5. Pp. 791–802.
5. Heikal M. Effect of calcium formate as an accelerator on the physicochemical and mechanical properties of pozzolanic cement pastes. // Cement and Concrete Research. 2004. № 34. Pp. 1051–1056.
6. Кирсанова А.А., Крамар Л.Я., Черных Т.Н., Стафеева З.В., Аргынбаев Т.М. Комплексный модификатор с метакраином для получения цементных композитов с высокой ранней прочностью и стабильностью // Вестник ЮУрГУ. 2013. Вып. 13. № 1. С. 49–57.
7. Curcio F., Deangelis B.A., Pagliolico S. Metakaolin as pozzolanic micro filler for highperformance mortars // Cement and Concrete Research. 1998. № 6. Pp. 803–809.

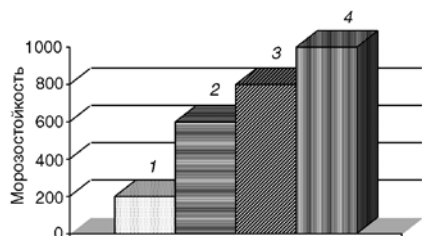


Рис. 7. Морозостойкость бетонов, циклов замораживания-оттаивания: 1 – бездобавочный состав; 2 – У-ЖЛ; 3 – УМ-ЖЛ; 4 – УМД-ЖЛ

И.Я. ГНИП, С.И. ВАЙТКУС, кандидаты техн. наук,
Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса (Литва)

Аналитическое описание деформаций ползучести минераловатных (MW) плит при длительном сжатии

В связи с применением в строительстве минераловатных и стекловолоконных плит в качестве конструкционного утеплителя, находящегося в условиях длительного воздействия постоянного сжимающего напряжения σ_c , проблема аналитического описания и прогнозирования их деформации ползучести представляет значительный интерес. Из-за анизотропии структуры минераловатных и стекловолоконных изделий [1] эта проблема сложнее, чем в случае полимерных изделий, для которых большинство деформативных показателей можно связать с их плотностью [2, 3]. Прогнозирование деформации ползучести минераловатных плит на перспективу приводит к необходимости сравнения получаемых моделей экстраполяции. Как и в случае исследования других объектов, могут быть получены модели со сходными статистическими свойствами, в результате чего трудно отдать предпочтение какой-либо одной модели [4–6]. Однако если предположить, что каждая из моделей описывает лишь одну сторону развития ползучести, отображаемой исследуемым временным рядом, то использование нескольких моделей позволит точнее и полнее описать и прогнозировать развитие деформаций ползучести на перспективу.

Феноменологическое описание кривых ползучести обусловлено двумя основными предположениями (a priori). Согласно одному из них скорость ползучести с течением времени снижается вследствие постепенного уменьшения числа элементарных носителей деформации с высокой подвижностью и включением в процесс деформирования все более «медленных» [4]. Ползучесть является установившимся процессом и может быть описана уравнением Финдли (W.N. Findley) [5, 7]:

$$\bar{\epsilon}_c(t) = b_0 t^{b_1}, \quad (1)$$

где $\bar{\epsilon}_c(t)$ – среднее значение деформации ползучести в момент времени t ; b_0, b_1 – константы, зависящие от свойств материала; t – время.

Согласно другому предположению уменьшение скорости ползучести с течением времени обусловлено исчерпанием запаса элементарных носителей деформации минераловатных изделий при их неизменной подвижности. Ползучесть является затухающим процессом, и взаимосвязь между деформацией ϵ_c и временем t экспоненциальная [6]:

Таблица 1

№№ серий испытаний	Данные испытаний образцов при сжимающей нагрузке								Результаты регрессионного анализа				Прогностические точечные значения деформации ползучести $\bar{\epsilon}_c(T)$ (%) для упреждения, годы		
	кратковременной		длительной						значения постоянных коэффициентов уравнения (2)			$S_{\bar{\epsilon}_c(t)}$, %			
	ρ , кг/м ³	$\sigma_{10\%}$, кПа	d_s , мм	σ_c , кПа	ϵ_0 , %	$\epsilon_c(t_n)$, %	t_n , сут		b_0	b_1	b_2		4	8	10
1	164±4*	96±5*	38,7	33,7	3,2	1,196	122		6	0,0248	0,4498	0,0640	2,89	3,56	3,78
2	155±4	80±3	70,3	28,2	2,3	0,822	125		4,4951	0,0267	0,4036	0,0302	1,78	2,19	2,33
3	94±2	33±1	79,9	11,8	2,48	0,286	165		0,5118	0,3121	0,1874	0,0029	0,36	0,38	0,39
4	125±4	33±2	28,7	11,7	3,93	1,098	164		2,7168	0,0843	0,3546	0,0158	1,84	2,07	2,14
5	103±1	45±1	148,3	15,8	2,15	0,247	123		1,2366	0,0866	0,1828	0,0102	0,35	0,38	0,4
6	110±3	44±1	60	15,6	1,94	0,842	95		1,2488	0,1457	0,4563	0,0216	1,23	1,24	1,25
7	150±3	75±4	68,7	26,5	3	0,871	95		2,0535	0,069	0,4506	0,0336	1,73	1,89	1,93
8	120±2	30±2	29	10,6	4,89	0,44	128		3,1592	0,0454	0,2245	0,0311	0,66	0,75	0,79
9	116±2	30±1	48,3	10,4	3,77	0,547	128		3,7141	0,0369	0,2725	0,0381	0,88	1,03	1,08
10	119±1	56±1	98,9	19,5	2,28	0,337	127		0,8108	0,3059	0,1161	0,0028	0,41	0,44	0,44
11	129±2	64±2	78,3	22,3	2,7	0,314	127		0,8315	0,2768	0,1085	0,0033	0,38	0,4	0,41
12	137±2	62±3	57,6	21,6	3,31	0,389	127		0,9948	0,2758	0,1192	0,0042	0,48	0,51	0,52
13	149±1	84±2	106,2	29,5	2,08	0,245	121		0,7779	0,1678	0,1598	0,0035	0,32	0,35	0,36
14	139±2	82±2	87,8	28,8	2,28	0,182	121		0,6367	0,1791	0,1199	0,0035	0,22	0,24	0,24
15	140±1	77±1	46,7	27,2	2,99	0,208	121		0,9929	0,0961	0,1749	0,0047	0,29	0,32	0,33
16	111±2	49±1	97,4	17,2	2,35	0,386	122		3,2556	0,0332	0,2575	0,0273	0,63	0,74	0,78
17	102±1	28,6±1	77,1	10	3,15	0,091	122		0,3722	0,15	0,1157	0,0041	0,11	0,12	0,12
18	103±2	30±1	47,5	10,4	3,38	0,411	122		3,3076	0,0259	0,3170	0,0317	0,76	0,92	0,97

* Среднее значение с доверительной оценкой при надежности $P=0,95$.

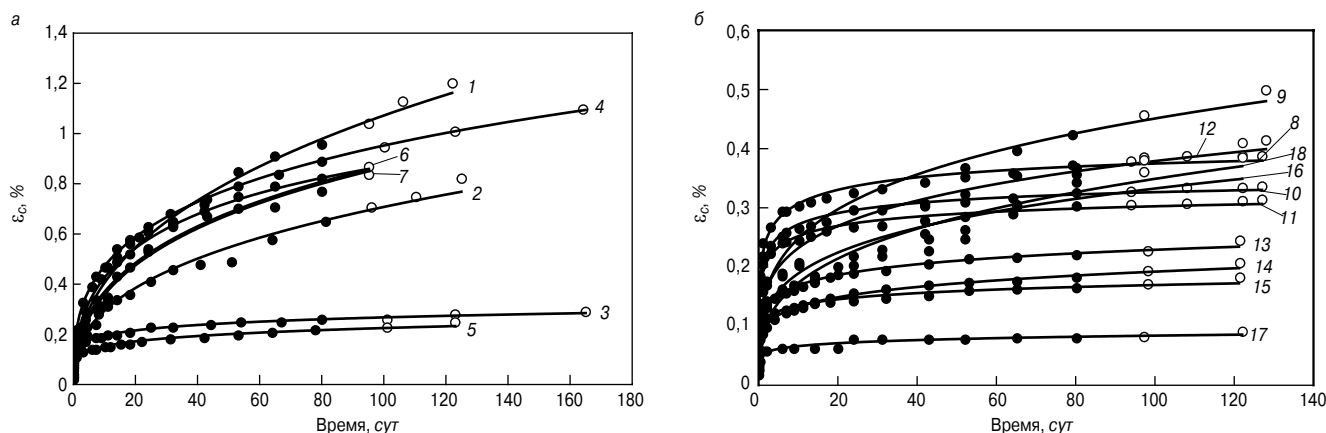


Рис. 1. Развитие деформаций ползучести ε_c минераловатных образцов разной плотности при $\sigma_c=0,35\sigma_{10\%}$ и продолжительности испытаний до 90 (●); более 90 сут (○). (—) — аппроксимация уравнением (2). Цифры у кривых — номера серий испытаний по табл. 1

$$\bar{\varepsilon}_c(t) = b_0 [1 - \exp(-b_1 t^{b_2})], \quad (2)$$

где b_0 — значение $\bar{\varepsilon}_c$ при $t \rightarrow \infty$; t — время.

Уравнение (1) применено в ГОСТ Р ЕН 1606 для аппроксимации экспериментальных данных испытаний теплоизоляционных материалов на ползучесть при постоянном сжимающем напряжении и предсказывает несоответствующее действительности непрерывное возрастание не переходящей в течение деформации при $t \rightarrow \infty$ в условиях непрерывного снижения ее скорости $\dot{\varepsilon}_c \rightarrow 0$. Поэтому имеет смысл вместо уравнения (1) использовать экспоненциальную временную закономерность (2).

Авторами работы ранее исследована [8] возможность интервального прогнозирования деформаций ползучести жестких минераловатных плит различного назначения с использованием аппроксимации процесса ползучести степенной моделью (1). Цель настоящей работы — на базе длительного прямого эксперимента осуществить аппроксимацию процесса ползучести по экспоненциальной модели (2) и методом экстраполяции выполнить интервальное прогнозирование деформаций ползучести для упреждения на 10 лет.

Работа посвящена исследованию ползучести жестких минераловатных плит, применяемых для утепления совмещенных покрытий (в качестве нижнего, среднего или верхнего слоев системы теплоизоляции), — серии 1–7, 13–15; стен фасадов зданий — серии 10–12 и 16; монолитных полов и наружных стен подвалов зданий — серии 17, 18, а также для звукоизоляции железобетонных междуэтажных перекрытий зданий — серии 8–9 (табл. 1). Испытывали плиты, изготовленные ведущими европейскими предприятиями. Плотность плит колебалась от 90 до 160 кг/м³ при изменении содержания связующего от 2,2 до 4,6 мас. %.

Для сравнительных оценок результатов исследований ползучести проводили испытания на кратковременное сжатие образцов плит согласно [9] при сжимающих напряжениях, действующих перпендикулярно поверхности плит. Испытывали образцы квадратной формы со стороной 200 мм согласно [10] и в соответствии с размерами образцов, испытываемых при длительном сжатии [7] и высотой, равной толщине минераловатных плит. Экспериментальные выборки выполняли из подготовленных минераловатных образцов с близкими исходными значениями плотности. Испытания проводили спустя 1,5 мес после изготовления плит.

В качестве критерия оценки деформируемости минераловатных плит при длительном сжатии использовали

деформацию ползучести описанных выше образцов, которую измеряли на специальных стендах [7], обеспечивающих вертикальность и постоянство приложенного напряжения в течение фиксированного интервала времени, равного 165 сут. Деформации ползучести определяли по методике, изложенной в ГОСТ Р ЕН 1606, при статическом напряжении $\sigma_c=0,35\sigma_{10\%}$ (для напряжения σ_c рекомендованы $\sigma_{10\%}$ от 0,15 до 0,35). Погрешность длительного сжимающего напряжения не превышала 1%, а измерения деформации ползучести — 0,005 мм.

За начало ползучести принимали отсчет деформации спустя 60 ± 5 с после начала нагружения. Каждый эксперимент проводили одновременно на пяти образцах одинаковой плотности.

Испытания выполнены при температуре окружающего воздуха $23 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $50 \pm 5\%$.

Значения относительных деформаций ползучести, %, вычисляли по формулам ГОСТ Р ЕН 1606 и аппроксимировали экспоненциальной моделью (2), обусловленной предположением выше вторым предположением (а priori). Регрессионное уравнение (2) наполнено числовыми параметрами на базе прямых экспериментов продолжительностью 95–165 сут. Для прогнозирования деформаций ползучести $\varepsilon_c(t)$ эмпирическая зависимость (2) с помощью логарифмирования приведена к линейному виду.

Прогноз рассчитывали с учетом интервала значений $\varepsilon_c(t)$. В общем виде доверительный интервал для тренда (регрессия на время) определяется по формуле:

$$\bar{\varepsilon}_c(t_i) \pm t_{\alpha;f} \cdot S_{\varepsilon_c(t)}, \quad (3)$$

где $S_{\varepsilon_c(t)}$ — среднее квадратическое отклонение фактических наблюдений от расчетных значений $\bar{\varepsilon}_c(t_i)$ на участке ретроспекции; $t_{\alpha;f}$ — t -статистика Стьюдента при уровне значимости α и числе степеней свободы $f=n-m$; n — число наблюдений $\varepsilon_c(t_i)$ при проведении длительного эксперимента; m — число параметров уравнения тренда ($m=3$ для экспоненциального уравнения (2)).

Если $t_i \rightarrow T_i = (t_n + t_L)$, то уравнение (3) определит значение доверительного интервала для тренда, продленного на t_L единиц времени. Доверительный интервал для прогноза должен учитывать не только неопределенность, связанную с положением тренда, но и возможность отклонения от этого тренда. Обозначим соответствующую среднюю квадратическую ошибку прогноза как S_p , тогда доверительный интервал прогноза составит:

Таблица 2

№№ серий испытаний	t_n , сут	$\bar{t}_n$, сут	n периода ретро-спекции	Результаты регрессионного анализа*					Границы доверительного интервала прогноза деформации ползучести $\varepsilon_c(T_i)$, %, для упреждения, годы	
				b_0	значения постоянных коэффициентов уравнения (9)		$S_{\ln M}^{**}$	$\ln \Delta t_i^{***}$	4	10
					$\ln b_1$	b_2				
1	122	32	15	6	-3,943	0,5126	0,1042	0,2037	4,09–2,63	5,11–3,52
2	125	36,5	14	4,495	-3,608	0,3986	0,0675	0,2217	2,07–1,47	2,7–1,92
3	165	38	14	0,512	-1,147	0,1828	0,0182	0,2431	0,37–0,35	0,4–0,38
4	164	43	13	2,717	-2,439	0,3466	0,0142	0,2628	1,85–1,76	2,16–2,06
5	123	31	13	1,237	-2,574	0,2162	0,0219	0,2389	0,41–0,36	0,48–0,42
6	95	28	12	1,249	-1,946	0,4618	0,0609	0,2371	1,24–1,2	1,25–1,24
7	95	32	11	2,054	-2,79	0,4828	0,0752	0,2474	1,93–1,61	2,03–1,84
8	128	36,5	12	3,159	-3,55	0,322	0,1216	0,2782	1,15–0,57	1,5–0,71
9	128	36,5	12	3,714	-3,809	0,3824	0,1088	0,2782	1,51–0,82	2–1,06
10	127	47	14	0,811	-1,195	0,1188	0,011	0,2229	0,43–0,41	0,46–0,44
11	127	47	14	0,832	-1,302	0,113	0,0136	0,2229	0,4–0,37	0,43–0,4
12	127	47	14	0,995	-1,3	0,1222	0,0137	0,2229	0,5–0,47	0,54–0,5
13	121	32	13	0,778	-1,824	0,1704	0,0148	0,2376	0,35–0,34	0,39–0,36
14	121	32	13	0,637	-1,755	0,1292	0,023	0,2376	0,24–0,21	0,27–0,23
15	121	32	13	0,993	-2,4	0,1915	0,0229	0,2376	0,32–0,28	0,38–0,33
16	122	37	12	3,256	-3,645	0,3155	0,0668	0,2738	0,91–0,61	1,18–0,77
17	122	37	12	0,372	-1,986	0,1384	0,0584	0,2738	0,14–0,1	0,15–0,11
18	122	37	12	3,308	-3,812	0,3516	0,1057	0,2738	1,12–0,6	1,48–0,76

* Линейный регрессионный анализ выполнен начиная со значений деформации ползучести $\varepsilon_c(t)$ при $t=7$ сут [7].

** Средняя квадратическая ошибка линейного в логарифмах тренда $S_{\ln M} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\ln M(t_i) - \ln \bar{M}(t_i)]^2}{n - m}}$; $\ln M(t_i)$ – фактические значения временного ряда (на участке ретроспекции); $\ln \bar{M}(t_i)$ – расчетные значения ряда (значения тренда); n – число точек ряда наблюдений; m – число параметров уравнения тренда ($m=2$ – линейный тренд).

*** Средняя величина временного интервала между ретроспективными значениями n . $\ln \Delta t_i = \frac{\ln t_n - \ln 7}{n - 1}$; t_n – продолжительность периода ретроспекции, сут; $\bar{t}_n$ – значение порядкового уровня, стоящего в середине ряда ретроспекции, сут.

$$\bar{\varepsilon}_c(t_n + t_L) \pm t_{\alpha; f} \cdot S_p. \quad (4)$$

Теория, лежащая в основе примененного метода определения доверительного интервала для линейного тренда, продленного за период ретроспекции, представлена в [11–13]. На основании этих исследований в настоящей статье приведены формулы определения значений доверительного интервала за периодом ретроспекции, т.е. для периода упреждения $T_i = (t_n + t_L)$. Отдельные пояснения к формулам содержатся в [14].

На рис. 1 представлены кривые относительных деформаций ползучести исследованных минераловатных плит, вычисленные по эмпирическому уравнению (2), а в табл. 1 приведены данные их математико-статистической обработки.

В таблице для каждой серии испытаний на ползучесть представлены:

- основные характеристики испытанных образцов – средние значения плотности, прочности при сжатии $\sigma_{10\%}$ и толщины;
- фактические значения длительно действующей сжимающей удельной нагрузки σ_c , а также начальной деформации ε_0 , возникающей в момент времени $t=60$ с от начала приложения нагрузки, и деформации ползучести ε_c в момент окончания прямого эксперимента $\varepsilon_c(t_n)$;
- постоянные параметры b_0 , b_1 и b_2 экспоненциального уравнения (2), а также среднеквадратические отклонения $S_{\varepsilon_c(t)}$;

– вычисленные прогностические точечные значения деформаций ползучести $\varepsilon_c(T_i)$, %, для упреждения на 4, 8 и 10 лет.

Статистическая обработка опытных данных показала, что кривые деформаций ползучести, аппроксимированные регрессионным экспоненциальным (2) уравнением, с учетом экспериментальной погрешности, хорошо представляют результаты исследований (рис. 1) и удовлетворяют граничным условиям как по деформациям ползучести, так и по скоростям их развития при $t \rightarrow 0$ и $t \rightarrow \infty$ [6].

Ниже представлены результаты определения границ доверительного интервала прогноза деформаций ползучести исследованных минераловатных плит с применением для экстраполяции регрессионной экспоненциальной зависимости (2). Период упреждения принят равным 4 и 10 годам.

Чтобы перейти к линейному виду регрессионной зависимости (2), последняя записывается в следующем виде [11]:

$$1 - \frac{\bar{\varepsilon}_c(t)}{b_0} = e^{-b_1 t^{b_2}}. \quad (5)$$

После логарифмирования получаем:

$$\ln \left(1 - \frac{\bar{\varepsilon}_c(t)}{b_0} \right) = -b_1 t^{b_2}. \quad (6)$$

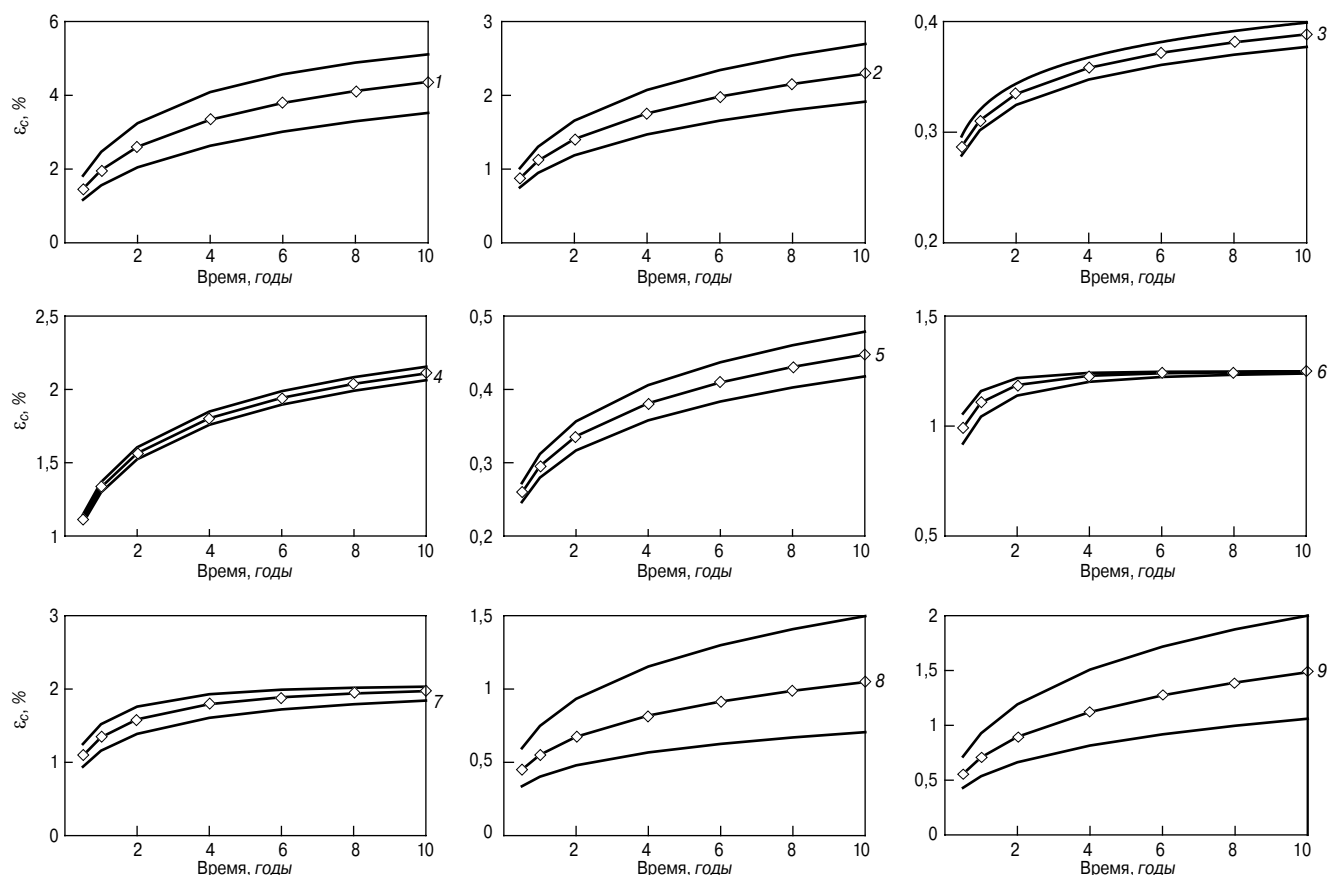


Рис. 2. Интервальные прогнозы деформаций ползучести минераловатных плит серий 1–9; при фиксированном сжимающем напряжении $\sigma_c = 0,35\sigma_{10\%}$ (экстраполяция линейных трендов экспоненциальной зависимости (2)). Цифры у линий – номера серий испытаний по табл. 1

Обозначив

$$\ln \left(1 - \frac{\bar{\varepsilon}_c(t)}{b_0} \right) = -\bar{M}, \quad (7)$$

получим:

$$\bar{M} = b_1 t^{b_2}. \quad (8)$$

После логарифмирования выражение (8) записывается как:

$$\ln \bar{M} = \ln b_1 + b_2 \ln t. \quad (9)$$

В табл. 2 приведены значения постоянных коэффициентов уравнения линейного тренда (9), вычисленные по экспериментальным данным, средние квадратические отклонения $S_{\ln M}$, а также результаты статистической обработки экспериментальных значений деформации ползучести минераловатных образцов при постоянном сжимающем напряжении $\sigma_c = 0,35\sigma_{10\%}$, аппроксимированных регрессионной зависимостью (2), приведенной к линейному виду.

Доверительный интервал определяется следующим выражением:

$$\left[1 - \frac{\bar{\varepsilon}_c(t_n + t_L)}{b_0} \right] = \text{ant} \ln \left[-\text{ant} \ln (\ln \bar{M} \pm t_{\alpha; f} \cdot S_{\ln M} \cdot K) \right], \quad (10)$$

где K – коэффициент, учитывающий расширение границ доверительного интервала при линейном тренде вследствие дисконтирования прогнозной информации.

Например, по экспериментальным данным длительных испытаний серии № 1 для $T = (t_n + t_L) = 10$ лет (3652 сут), безразмерный интервал периода упреждения прогноза равен:

$$L = \frac{\ln T - \ln \bar{t}_n}{\ln \Delta t_i} = \frac{\ln 3652 - \ln 32}{0,2037} = 23,25,$$

где $\bar{t}_n$, $\ln \Delta t_i$ – см. табл. 2.

Согласно [11, выражение (5.21) для линейного тренда] коэффициент $K = 2,08$ при $n = 15$. Значение t -статистики Стьюдента [15] – $t_{0,1;13}$ и $S_{\ln M} = 0,1042$ (табл. 2, серия испытаний № 1).

При этом согласно (9) для $T = (t_n + t_L) = 10$ лет по результатам, представленным в табл. 2:

$$\ln \bar{M} = -3,943 + 0,5126 \ln 3652 = 0,2619.$$

Отсюда доверительный интервал для левой части равенства (5) согласно выражению (10) будет равен:

$$\begin{aligned} \left[1 - \frac{\bar{\varepsilon}_c(t_n + t_L)}{b_0} \right] &= \text{ant} \ln \left[-\text{ant} \ln (\ln 0,2619 \pm 1,771 \cdot 0,1042 \cdot 2,08) \right] = \\ &= \text{ant} \ln \left[-\text{ant} \ln (0,646 \div (-0,122)) \right] = 0,148 \div 0,413. \end{aligned}$$

Предполагая, что асимптота b_0 эмпирического уравнения (2) не содержит ошибки (условие весьма жесткое), получим:

$$\left[1 - \frac{\bar{\varepsilon}_c(t_n + t_L)}{b_0} \right] = N$$

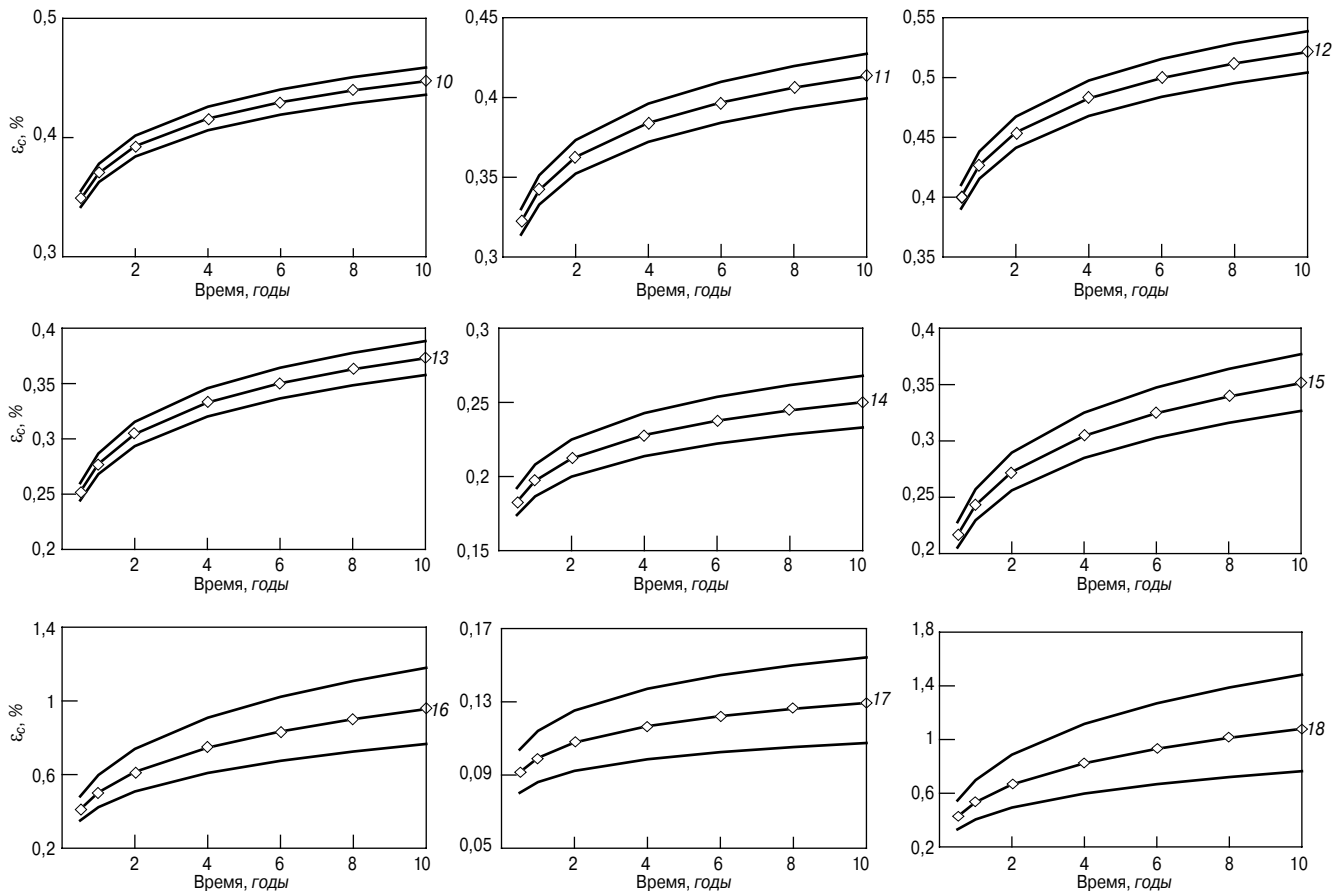


Рис. 3. Интервальные прогнозы деформаций ползучести минераловатных плит серий 10–18 при фиксированном сжимающем напряжении $\sigma_c = 0,35\sigma_{10\%}$ (экстраполяция линейных трендов экспоненциальной зависимости (2)). Цифры у линий – номера серий испытаний по табл. 1

или:

$$\bar{\varepsilon}_c(t_n + t_L) = (1 - N)b_0, \quad (11)$$

где b_0 – постоянный коэффициент уравнения (2), табл. 1; N в приведенном выше примере для серии испытаний № 1 составляет 0,148–0,413.

Таким образом, по данным испытаний серии № 1:

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon}_c(T=10) &= [1 - (0,148 - 0,413)] \cdot b_0 = (0,587 - 0,852) \cdot 6 = \\ &= (3,52 - 5,11)\%. \end{aligned}$$

Числовые операции для других серий не имеют принципиального отличия.

Окончательные результаты интервальных прогнозных оценок деформаций ползучести согласно выражениям (9–11) для упреждения на 4 и 10 лет приведены в табл. 2. На основании этих данных следует отметить, что в выполненных исследованиях значения относительной ширины доверительных интервалов прогнозируемых значений деформаций ползучести для упреждения как на 4, так и на 10 лет составили в среднем $26 \pm 8\%$ расчетного экстраполяционного уровня при использовании регрессионной зависимости (9) на базе экспериментов продолжительностью $t_n = 95 - 165$ сут. Графические интерпретации вычисленных доверительных интервалов представлены на рис. 2 и 3.

При выполнении прямого эксперимента в соответствии с методическими указаниями ГОСТ Р ЕН 1606 относительно момента времени замера деформаций значение коэффициента следует принимать равным $2 \pm 0,15$ для периода упреждения $T \leq 10$ лет.

Следовательно, согласно выражению (3) на положение тренда в пространстве $\varepsilon_c - t$ влияет степень разброса наблюдаемых значений ε_c на ретроспективном участке.

Чем выше колеблемость наблюдаемых значений признака, тем менее точно определено положение тренда в пространстве $\varepsilon_c - t$ и тем шире должен быть интервал для вариантов прогноза при одной и той же доверительной вероятности.

По значениям 90% верхних и нижних доверительных границ, рассчитанных по выражениям (9–11) и представленных в табл. 2 (графическую интерпретацию см. на рис. 2 и 3), в настоящей работе рассмотрена возможность определения доверительных интервалов деформаций ползучести на период упреждения $T = 0,5 - 10$ лет, используя среднее квадратическое отклонение логарифмических фактических наблюдений деформации ползучести от линейного тренда (9) на ретроспективном участке. При этом предполагается, что при проведении прямого эксперимента моменты времени замера деформаций ползучести соответствуют методическим рекомендациям ГОСТ Р ЕН 1606.

Рассмотрена регрессионная зависимость:

$$\bar{\delta}_{\max(\min)}(T_i) = a_0 \cdot S_{\ln M}, \quad (12)$$

где $\bar{\delta}_{\max}(T_i)$, $\bar{\delta}_{\min}(T_i)$ – соответственно относительные 90% верхняя и нижняя границы доверительного интервала расчетного уровня; $S_{\ln M}$ – среднее квадратическое отклонение логарифмических опытных данных от эмпирической линии регрессии (9), представленные в табл. 2; a_0 – коэффициент, вычисленный по значениям верхней и нижней границ доверительных интервалов, определенным по выражениям (9–11).

В табл. 3 представлены значения коэффициента a_0 уравнения (12) для определения 90% доверительных

Таблица 3

Доверительные границы	Результаты регрессионного анализа		
	Значения коэффициента a_0 уравнения (12)	$S_{\delta_{\max}(\min)}$, %	$R_{\delta_{\max}(\min)}^2 \cdot S_{\ln m}$
Верхняя	309	2,6	0,962
Нижняя	-254	1,7	0,974

границ прогнозируемых значений деформаций ползучести минераловатных плит при постоянной сжимающей нагрузке $\sigma_c = 0,35\sigma_{10\%}$. Коэффициенты уравнения (12) определены методом наименьших квадратов [15, 16]. Отметим, что коэффициенты детерминации $R_{\delta_{\max}(\min)}^2 \cdot S_{\ln m}$ регрессионных уравнений вида (12) составляют 0,962–0,974 и показывают, что при длительном эксперименте ($t_n = 122$ сут) вариация относительных 90% верхних и нижних границ доверительного интервала прогнозистических оценок деформаций ползучести для периода упреждения $T = 5–10$ лет на 96% обусловлена среднеквадратическим отклонением логарифмических опытных данных от эмпирической линии на ретроспективном участке и лишь на 4% – действием остальных факторов, не учтенных в рассмотренной системе случайных величин [16].

Таким образом, приводимые регрессионные уравнения вида (12) с коэффициентом a_0 , представленным в табл. 3, могут использоваться в определении доверительных интервалов прогноза деформаций ползучести (при доверительной вероятности 90%). Например, по данным испытанных серий отношение средних значений $\bar{\delta}_{\max}(T=10)$, вычисленных по уравнению (12), и выше рассчитанных значений 90% верхней доверительной границы деформаций ползучести для упреждения на $T=10$ лет (табл. 2) составляет в среднем $1,08 \pm 0,09$.

Поэтому прогнозирование деформаций ползучести минераловатных плит в рассматриваемом интервале при постоянно сжимающем напряжении $\sigma_c = 0,35\sigma_{10\%}$ с применением регрессионной зависимости (12) можно признать удовлетворительным. Следовательно 90% верхнюю (нижнюю) границу прогнозируемых значений деформаций ползучести для периода упреждения от 0,5 до 10 лет можно представить выражением:

$$\varepsilon_c^{\text{верхн. (нижн.)}}(T_i) = \bar{\varepsilon}_c(T_i) \cdot \left[1 \pm \frac{\delta_{\max(\min)}(T_i)}{100} \right], \quad (13)$$

где $\bar{\varepsilon}_c(T_i)$ – среднее значение деформации ползучести для упреждения на T_i год, вычисляемое по формулам (9, 10), %; $\delta_{\max(\min)}(T_i)$ – относительная величина 90% верхней (нижней) доверительной границы, вычисляемая по уравнению (12), %.

Заключение. Математико-статистическая обработка опытных данных прямого эксперимента показала, что кривые ползучести, аппроксимированные экспоненциальной зависимостью (2), достаточно точно представляют результаты опытов. Относительная ширина доверительного интервала прогноза экстраполяции по экспоненциальной модели составляет в среднем $26 \pm 8\%$ расчетного уровня.

Для случая проведения прямого эксперимента в соответствии с методическими рекомендациями ГОСТ Р ЕН 1606 относительно момента времени замера деформаций и аппроксимации процесса ползучести на базе экспоненциальной модели (2) представлено регрессионное уравнение для определения 90% верхних

и нижних доверительных границ деформаций ползучести для упреждения на $T = 0,5–10$ лет при использовании среднеквадратического отклонения логарифмических фактических наблюдений деформаций ползучести от линейного тренда на ретроспективном участке.

Ключевые слова: минераловатные (MW) плиты, длительное сжатие, феноменологическое описание ползучести, экспоненциальная модель, интервальное прогнозирование.

Список литературы

1. Bergonnier S., Hild F., Rieunier J.-B., Roux S. Strain heterogeneities and local anisotropy in crimped glass wool // J. Mat.Science. 2005. № 40. Pp. 5949–5954.
2. Mihlaynlar E., Dilmaç Ş., Güner A. Analysis of the effect production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity // Materials and design 2008. № 29. Pp. 344–352.
3. Gimenez I., Farooq M.-K., El Mahi A., Kondrotas A., Assarar M. Experimental analysis of mechanical behaviour and damage development mechanisms of PVC foams in static tests // Materials Science (Medžiagotyra). 2004. № 10 (1). Pp. 34–39.
4. Бронников С.В., Веттегрень В.И., Калбина Н.С. Аналитическое описание деформации ползучести полимерных волокон под нагрузкой // Механика композит. материалов. 1990. № 3. С. 544–546.
5. Horvath J.S. Mathematical modeling of the stress-strain-time behavior of geosynthetics using the Findley equation: general theory and application to EPS-block geofoam. Manhattan College Research report No. CE/GE-98-3, New-York, USA, May 1998.
6. Прокопович И.Е., Зедгендзе В.А. Прикладная теория ползучести. М.: Стройиздат, 1980. 240 с.
7. EN 1606:1996+AC:1997+A1:2006 E. Thermal insulating products for building applications. Determination of compressive creep. CEN, 2006 (ГОСТ Р ЕН 1606–2010. Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Метод определения ползучести при сжатии. С. 16.).
8. Gnip I., Vaitkus S., Kersulis V., Vejelis S. Long-term prediction of creep strains of mineral wool slabs under constant compressive stress. Mech Time Depend Mater. 2012. № 16. Pp. 31–46. DOI 10. 1007/s11043-011-9152.
9. Thermal insulating products for building applications. Determination of compression behaviour. EN 826:1996 E. 1996. 15 p.
10. Thermal insulating products for building – Factory made mineral wool (MW) products. EN 13162:2008 E. Specification. CEN, 2008. 40 p.
11. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. 200 с.
12. Рабочая книга по прогнозированию / Отв. ред. И.В. Бестужев-Лада. М.: Мысль, 1982. 430 с.
13. Гмошинский В.Г., Флиорент Г.И. Теоретические основы инженерного прогнозирования. М.: Наука, 1973. 304 с.
14. Гнип И.Я., Кершулис В.И., Вайткус С.И. Доверительные интервалы прогноза деформаций ползучести пенопласта из полистирола // Строительные материалы. 2005. № 3. С. 47–49.
15. Закс Л. Статистическое оценивание / Пер. с нем. М.: Статистика, 1976. 598 с.
16. Айвазян С.А. Статистическое исследование зависимостей. Применение методов корреляционного и регрессионного анализов и обработка результатов эксперимента. М.: Металлургия, 1968. 228 с.

В.А. УШКОВ, канд. техн. наук, Д.И. НЕВЗОРОВ, инженер (pehel@yandex.ru),
Л.С. ГРИГОРЬЕВА, В.М. ЛАЛАЯН, кандидаты хим. наук,
Московский государственный строительный университет

Влияние минеральных наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных строительных материалов

Значительная часть пожаров на транспорте, в зданиях и сооружениях происходит в местах концентрации полимерных строительных материалов (ПСМ), подавляющее большинство которых относится к горючим материалам с высокой дымообразующей способностью. Так, в России в 2010 г. произошло 179098 пожаров, при которых 12983 человека погибли и 13067 человек получили травмы различной степени тяжести.

Одним из эффективных методов повышения эксплуатационных показателей, снижения пожарной опасности и стоимости ПСМ является применение минеральных наполнителей. Они значительно изменяют надструктуру и свойства межфазного слоя полимерного композита, влияют на тепло- и массообмен при горении ПСМ. Характер этих изменений зависит от содержания и химической природы минерального наполнителя, дисперсности и формы его частиц, других факторов [1–3]. Эти факторы могут существенно влиять и на процессы пиролиза наполненных полимеров [4], а следовательно, на пожарную опасность таких материалов.

Представлялось целесообразным установить влияние содержания и химической природы минеральных наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность ПСМ [5–7].

В качестве объектов исследования в работе были использованы полиэтилен низкого давления (ПЭНД)

марки 20208-002 (ГОСТ 16338–85), полипропилен марки 21007 (ГОСТ 26996–86), вторичный ПВХ, пластифицированный ЭД-20 (ГОСТ 10587–84), материалы на основе синтетического каучука СКС-30АРКМ-15 (ГОСТ 11138–78) и шинного регенерата (РШ) (ТУ 38.404.203–90). В качестве неорганических наполнителей применяли порошкообразные вещества со средним эквивалентным диаметром частиц 10–25 мкм, устойчивые к температуре до 1000°C – Al_2O_3 (ГОСТ 30558–98); CaO (ГОСТ 8677–76); CuO (ГОСТ 16539–79); Fe_2O_3 (ТУ 6-09-1418–88); LiF (ТУ 6-09-3529–84); Sb_2O_3 (ТУ 48-14-1–88); TiO_2 (ГОСТ 9808–84); ZnO (ГОСТ 202–84); CaCO_3 (ГОСТ 12085–88) и разлагающиеся ниже 600°C – $\text{Al}(\text{OH})_3$ (ГОСТ 11841–76); $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (ТУ 6-09-3759–86); $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ГОСТ 9262–77); $\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, MgCO_3 (ГОСТ 6419–78); NaHCO_3 (ГОСТ 2156–76); каолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 21286–82); гетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$; лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$; серпентин $\text{X}_{2-3}\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, где $\text{X} = \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ni}, \text{Al}, \text{Zn}, \text{Mn}$, талькомагнезит (смесь $\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ – 56% и MgCO_3 – 30%) (ГОСТ 21235–75) и другие вещества. Молярная масса M , плотность ρ , молярная теплоемкость c_p и теплопроводность λ при 200 и 300К использованных неразлагающихся минеральных наполнителей (табл. 1) – справочные данные. ПСМ получали по общепринятым методикам.

Таблица 1

Наполнитель	ММ, кг/моль	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·К)	c_p , Дж/(моль·К)	$c_{уд}$, кДж/(кг·К)
Bi_2O_3	0,466	8900	~0,8	114	0,25
Sb_2O_3	0,292	5190	–	111,79	0,38
Zn	0,065	7133	118	25,44	0,39
ZrO_2	0,123	5680	1,6	55,92	0,46
ZnO	0,081	5700	54 (300К)	40,42	0,5
CuO	0,08	6450	1,01	42,3	0,53
TiO_2	0,08	3840	11,5	55,5	0,69
Fe_2O_3	0,16	5250	5,33	113,91	0,71
SiO_2	0,06	2650	14,3 (300К)	44,6	0,74
Al_2O_3	0,102	3970	58 (300К)	79,03	0,78
CaCO_3	0,1	2710	0,92	81,85	0,82
CaF_2	0,078	3180	12,5 (300К)	67,03	0,85
Al	0,027	2700	237	24,35	0,9
MgO	0,04	3580	58 (300К)	37,24	0,93
CaO	0,056	3370	9 (700К)	42,05	1,29
LiF	0,026	2630	4,01	41,8	1,61

Примечание: $c_{уд}$ – удельная теплоемкость наполнителя.

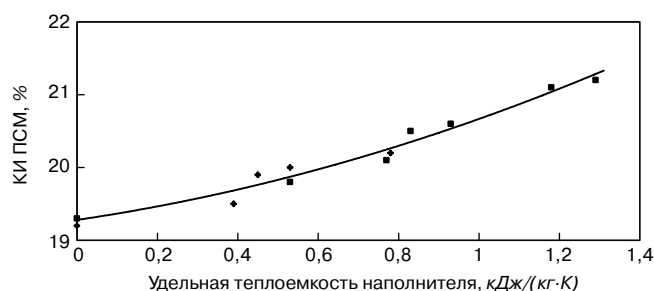


Рис. 1. Зависимость КИ ПСМ от удельной теплоемкости минеральных наполнителей (~45 мас. %)

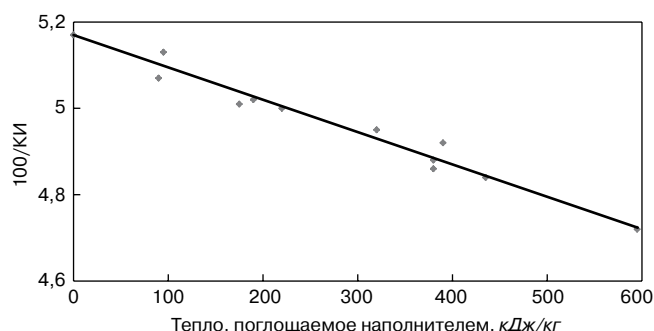


Рис. 2. Зависимость КИ наполненного пластифицированного полимера ЭД-20 и материалов на основе каучука СКС-30АРКМ-15 от показателя $k \cdot q_n$ неразлагающихся наполнителей

Термостойкость ПСМ определяли термогравиметрическим методом в динамическом режиме нагрева со скоростью 10 и 20°С/мин на воздухе (50 мл/мин), используя для этих целей термоаналитический автоматизированный комплекс DuPont – 9900. Термогравиметрический анализ ПСМ проводили с учетом требований ГОСТ Р 53293–2009. В качестве критерия термостойкости ПСМ использовали температуру начала интенсивного разложения ($T_{нр}$) и максимальной скорости разложения ($T_{мах}$). Кислородный индекс (КИ), температуру воспламенения (T_v) и самовоспламенения ($T_{св}$), коэффициент дымообразования ($\mathcal{D}_m$) в режиме пиролиза и горения, критическую плотность теплового потока воспламенения ($q_{кр}$) ПСМ определяли по ГОСТ 12.1.044–89*. Предельную концентрацию кислорода ($c_{пр}$) и скорость распространения пламени по горизонтальной поверхности ($V_{пр}$) ПСМ при различной концентрации кислорода в потоке окислителя (O_2+N_2) изучали по методике работы [5]. В табл. 1 приведены теплофизические свойства неорганических неразлагающихся наполнителей.

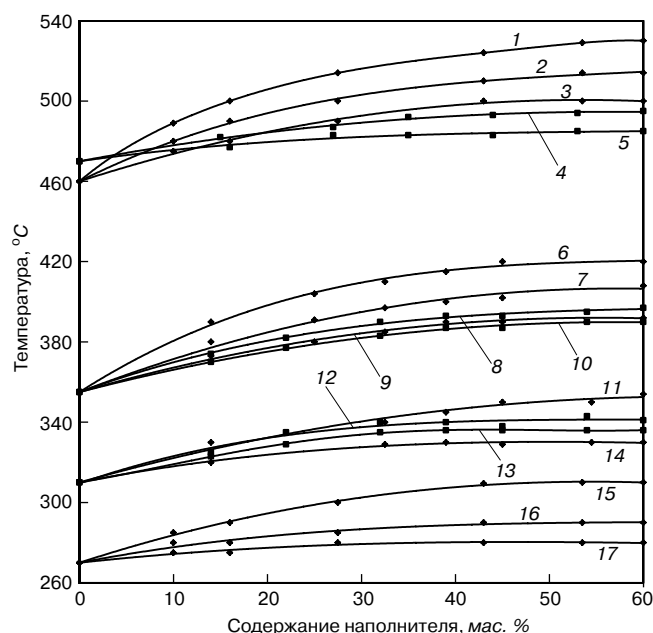


Рис. 3. Зависимость $T_{св}$ (1–10) и T_n (11–17) ПКМ от содержания разлагающихся наполнителей: 1, 15 – $Al(OH)_3$; 2, 6, 11, 16 – $Mg(OH)_2$; 3, 8, 9, 12, 14, 17 – мел; 4 – MgO ; 5 – CaO ; 7 – каолин; 10, 13 – SiO_2 ; 13 – Fe_2O_3 ; 1, 2, 3, 4, 5, 15, 16, 17 – пластифицированный полимер ЭД-20; 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 – резина на основе каучука СКС-30АРКМ-15

Условия теплового баланса при диффузионном горении полимерных материалов можно представить в виде уравнения [8]:

$$\frac{100}{КИ} = \frac{H - L - c_T \cdot (T_f - T_s) - Q_{пот} - k \cdot q_n}{\gamma \cdot c_o \cdot (T_f - T_0)} \quad (1)$$

где c_T , c_o – соответственно удельная теплоемкость окислителя и газообразных продуктов разложения полимера; H , L , $Q_{пот}$ – удельные значения соответственно теплот сгорания и газификации полимера, тепловых потерь от пламени; T_0 , T_s , T_f – соответственно значения температуры окружающей среды, горячей поверхности и пламени; q_n – удельное количество тепла, поглощаемое наполнителем в процессе горения ПСМ; $k = \frac{m_n}{m_r}$ – относительная степень наполнения; $\gamma = \frac{m_0}{m_r}$ – массовый стехиометрический коэффициент сгорания топлива; $\dot{m}_0$, $\dot{m}_r$, $\dot{m}_n$ – соответственно массовые потоки кислорода, топлива и наполнение по массе.

Таблица 2

Наполнители	Показатели						
	$T_{св}$, °С	КИ, %	$c_{пр}$, %	$q_{кр}$, кВт/м ²	У _{пр} , мм/с, при [O ₂] в окислителе, %		$\mathcal{D}_m$, м ² /кг, в режиме
					35	45	
–	470	19,3	20,1	10,3	0,41	0,74	1470
CaO	480	21,2	26,8	11,7	0,25	0,46	520
CaCO ₃	495	20,5	25,3	11,4	0,23	0,51	790
Ca(OH) ₂	480	20,1	24	11,2	0,3	0,56	410
MgO	490	20,6	25,6	11,7	0,25	0,45	720
Al ₂ O ₃	490	20,1	23,5	10,8	0,24	0,39	800
Ba(OH) ₂	480	22,1	30,2	14,3	0,1	0,29	650
CuO	480	19,8	21,2	10,6	0,25	0,4	590
Fe ₂ O ₃	500	22,9	26,7	–	0,25	0,49	760
Sb ₂ O ₃	510	20,6	25,4	11,2	0,13	0,61	630

Примечание. Содержание наполнителей – 43,5 мас. %; пластификатора (диоктилфталата) – 8,7 мас. %.

Таблица 3

Показатели	Наполнители					
	Al(OH) ₃	Mg(OH) ₂	CaCO ₃	MgCO ₃	Лимонит	Серпентин
Температура, °C						
$T_{нр}$	233	332	620	197	229	555
T_{max}	308	379	729	438	305	709
Максимальная скорость разложения, %/мин	5,27	6,8	5,02	5,97	0,92	1,77
Теплота разложения, кДж/кг	963	1093	–	301	–	–

Таблица 4

Показатели	Вторичный ПВХ	Наполнители				
		Каолин	Мел	Al(OH) ₃	Mg(OH) ₂	Талько магнезит
Температура, °C						
$T_{нр}$	213	203	210	200	215	200
$T_{св}$	400	440	440	450	440	410
Кислородный индекс, %	28,3	30,9	27,9	32,2	29,6	28,9
$C_{пр}$, %	40	60	45	55	50	50
$V_{рп}$, м/с 10^{-3} , при [O ₂]=60%	2,35	1,16	1,54	0,89	1,02	1,46
D_m , м ² /кг, в режиме пиролиза	1090	510	750	650	910	570
горения	580	270	300	190	330	270

Примечание. Содержание разлагающихся наполнителей 20 мас. %.

В ведущей кромке пламени полимеров значение T_f колеблется в пределах от 700–800 до 1200–1300°C, поэтому в работе значение $(T_f - T_0)$ принято постоянным (~1000°C) для всех исследованных ПСМ. Постоянной можно считать и температуру горячей поверхности наполненных композитов: $(T_f - T_0) = 600^\circ\text{C}$ [8]. Для ПСМ на основе полимеров, не образующих при пиролизе карбонизованного остатка, $k = \frac{m_n}{m_t}$ – отношение массы наполнителя к массе полимера. Для ПСМ на основе карбонизирующихся полимеров $k = \frac{m_n}{m_t \cdot (1 - \delta)}$, где δ – степень карбонизации полимерного связующего.

Влияние неразлагающихся минеральных наполнителей на диффузионное горение ПСМ связано с дополнительными затратами тепла на их нагрев до температуры горячей поверхности. Тепло, поглощаемое наполнителем в условиях горения ПСМ: $Q_n = k \cdot q_n = k \cdot c_{уд} \cdot (T_s - T_0)$. В табл. 2 показана воспламеняемость и дымообразующая способность наполненных и пластифицированных эпоксидных композиций. Установлено, что химическая природа неразлагающихся минеральных наполнителей слабо влияет на предельные характеристики горения эпоксидных композиций: КИ равен 19,8–22,9%; $c_{пр}$ – 21,2–27,7%; $T_{св}$ – 480–510°C; $q_{кр}$ – 10,6–14,3 кВт/м² (табл. 2). Значения $V_{рп}$ эпоксидных композиций близки (табл. 1), что отражает, по-видимому, определяющий вклад эффекта объемного разбавления конденсированного топлива. Зависимость КИ ПСМ от удельной теплоемкости минеральных наполнителей при степени наполнения ~45 мас. % показана на рис. 1. Причем экспериментальные данные хорошо ложатся на прямую в координатах 100/КИ от показателя $k \cdot q_n$ независимо от типа использованного неразлагающегося наполнителя (рис. 2). При этом результаты экспериментов согласуются с линейной зависимостью во всем диапазоне степени наполнения ПСМ.

Тепло, поглощаемое неорганическим наполнителем, разлагающимся в условиях горения ПСМ, включает несколько составляющих: нагрев наполнителя до температуры разложения и остатка до температуры го-

рящей поверхности, теплоту разложения, нагрев летучих продуктов пиролиза до температуры пламени. Расчет величины теплопоглощения (q_n) исследованных разлагающихся наполнителей проводили с учетом всех отмеченных факторов. Для многих соединений основной вклад вносит теплота разложения. Так, например, расчет показывал, что для Al(OH)₃ теплота разложения составляет более 70% от величины суммарного теплопоглощения наполнителем. Термические свойства наиболее распространенных разлагающихся минеральных наполнителей, используемых для производства ПСМ, приведены в табл. 3. Влияние разлагающихся наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность вторичного ПВХ и материалов на основе СКС-30АРКМ-15 приведено в табл. 4, 5.

Минимальной горючестью обладают вторичные ПВХ-материалы, наполненные Al(OH)₃ (табл. 4). Незначительно уступает Al(OH)₃ по эффективности пламягасящего действия каолин, который в интервале значений температуры 400–550°C теряет химически свя-

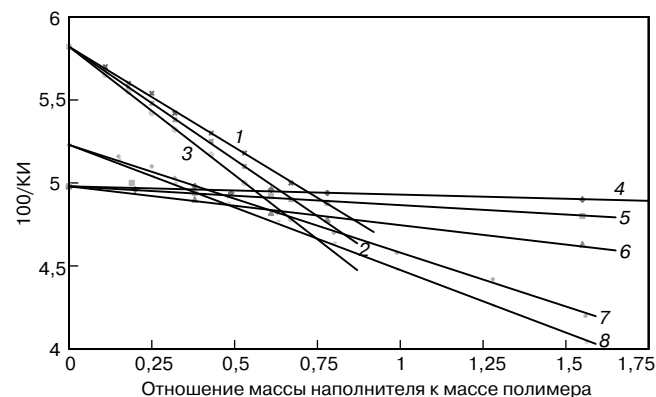


Рис. 4. Зависимость воспламеняемости наполненных ПСМ от относительного содержания неразлагающихся наполнителей: 1, 5, 7 – CaCO₃; 2 – TiO₂; 3 – ZnO; 4 – Al₂O₃; 6 – CaO; 8 – SiO₂; 1, 2, 3 – полипропилен; 4, 5, 6 – пластифицированный полимер ЭД-20; 7, 8 – материалы на основе каучука СКС-30АРКМ-15

Таблица 5

Показатели	Наполнители			
	Al(OH) ₃	Mg(OH) ₂	Каолин	Мел
Удельная теплоемкость вулканизата, кДж/(кг·К)	1,39	1,5	1,23	1,25
Кислородный индекс, %	24,6	23,9	21,4	20,9
C _{пр} , %	24,9	24,6	40	27,8
Теплота сгорания, кДж/кг	19259,3	20473,4	20515,3	18254,4
D _m , м ² /кг, в режиме пиролиза пламенного горения	200 570	650 515	600 490	470 560

Примечание. Содержание неорганических наполнителей – 45 мас. %; РШ – 24,2 мас. %; индустриального масла И-8А – 15 мас. %.

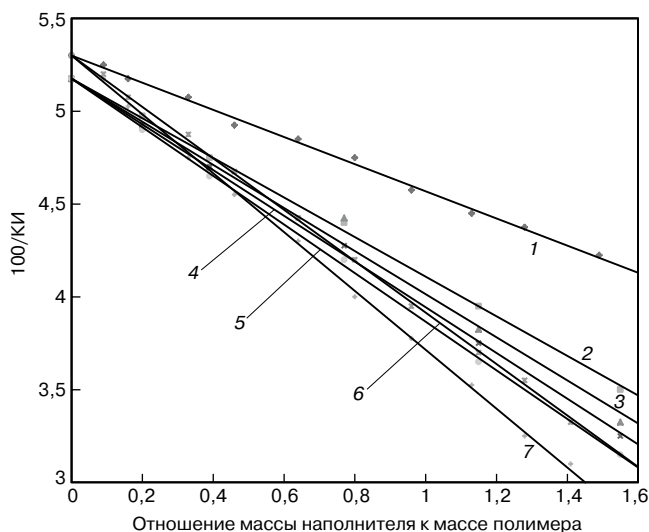


Рис. 5. Зависимость величины 100/КИ от относительного содержания разлагающихся наполнителей для ПСМ, наполненных: 1 – каолин; 2 – серпентин; 3, 7 – Al(OH)₃; 4, 5 – Mg(OH)₂; 6 – лимонит; 1, 5, 7 – материалы на основе СКС-30АРКМ-15; 2, 3, 4, 6 – пластифицированный полимер ЭД-20

зную воду, переходя в метакаолинит. Низкая эффективность Mg(OH)₂ обусловлена его высокой температурой начала разложения $T_{\text{нр}}$ (более 330°C) по сравнению с $T_{\text{нр}}$ вторичного ПВХ (~185°C). Поэтому важным фактором, определяющим эффективность разлагающихся веществ как наполнителей-антипиренов ПСМ, является близость температуры дегидратации наполнителя и $T_{\text{нр}}$ полимера. Мел повышает пожарную опасность ПВХ-материалов, так как образующийся при дегидрохлорировании полимера HCl адсорбируется на поверхности наполнителя и не участвует в флегматизации пламени и ингибировании радикальных цепных процессов в газовой фазе. В то же время Al(OH)₃ и каолин практически не поглощают HCl.

Влияние природы неорганических наполнителей на горючесть ПВХ-материалов становится особенно заметным при распространении пламени по горизонтальной поверхности (табл. 4). Горючесть и дымообразующая способность вторичного ПВХ показаны в табл. 4. По-видимому, при распространении пламени по горизонтальной поверхности значительно возрастают потери тепла через конденсированную фазу ($k_{\text{фаза}}$) волны горения и, следовательно, указанные показатели существенно зависят от теплофизических свойств материала и используемых наполнителей. Этим, в частности, и объясняется высокая эффективность пламягасящего действия каолина.

Горючесть материалов на основе синтетических каучуков также зависит от теплофизических показателей

материала. Горючесть и дымообразующая способность материалов на основе каучука СКС-30АРКМ-15 показаны в табл. 5. Причем минимальной горючестью обладают материалы на основе каучука СКС-30АРКМ-15, наполненные Mg(OH)₂ и Al(OH)₃.

Пожарная опасность ПСМ с ростом степени наполнения закономерно снижается. Так, например, с ростом содержания неразлагающихся минеральных наполнителей (до 60 мас. %) $T_{\text{в}}$ и $T_{\text{св}}$ исследованных ПСМ повышаются на 25–35 и 10–35°C соответственно (рис. 3), а $q_{\text{кр}}$ линейно возрастает на 1,5–2 кВт/м². КИ наполненных полипропилена, материала на основе СКС30АРКМ-15 и пластифицированного полимера ЭД-20 увеличивается соответственно с 17,4; 19,1 и 19,4% до 19,1–19,4; 22,8–23,4; 20,3–21,5%.

С увеличением содержания разлагающихся наполнителей до 60 мас. % $T_{\text{в}}$ материалов на основе каучука СКС-30АРКМ-15 и пластифицированного полимера ЭД-20 возрастает на 10–45°C с 310 и 270°C до 330–355 и 280–310°C (рис. 3) соответственно. Низкие значения $T_{\text{в}}$ пластифицированного эпоксидного полимера обусловлены высокой воспламеняемостью использованного пластификатора – диоктилфталата ($T_{\text{всп}}=151^\circ\text{C}$, $T_{\text{св}}=358^\circ\text{C}$), который при нагревании ПСМ легко мигрирует на поверхность образца. $T_{\text{св}}$ исследованных ПСМ повышается на 30–65°C. При этом $q_{\text{кр}}$ ПСМ линейно увеличивается с ростом степени наполнения на 3,7–9 кВт/м² для полимера ЭД-20 и 1–1,2 кВт/м² для материалов на основе СКС-30АРКМ-15.

Для всех исследованных минеральных наполнителей в широком диапазоне степени наполнения ПСМ с удовлетворительной степенью точности выполняется линейная зависимость величины 100/КИ от относительного содержания наполнителей (рис. 4, 5). Причем тангенс угла наклона прямых к оси абсцисс ($\text{tg}\alpha$) пропорционален величине $q_{\text{н}}$. Значения $\text{tg}\alpha$ для ПСМ на основе различных полимеров и наполнителей:

Полиэтилен:	Пластифицированный ЭД-20 полимер
Al(OH) ₃ – 0,94	лимонит – 1,32
LiF – 0,35	Mg(OH) ₂ – 1,25
Al ₂ O ₃ – 0,25	Al(OH) ₃ – 1,2
Al – 0,21	серпентин – 1,07
PbO – 0,08	CaO – 0,24
	CaCO ₃ – 0,13
	Al ₂ O ₃ – 0,04
Материалы на основе каучука СКС-30АРКМ-15	Полипропилен:
Al(OH) ₃ – 1,57	ZnO – 1,54
Mg(OH) ₂ – 1,39	TiO ₂ – 1,36
SiO ₂ – 0,77	CaCO ₃ – 1,25
каолин – 0,72	
CaCO ₃ – 0,67	

Приведенные данные показывают, что разлагающиеся наполнители по эффективности снижения вос-

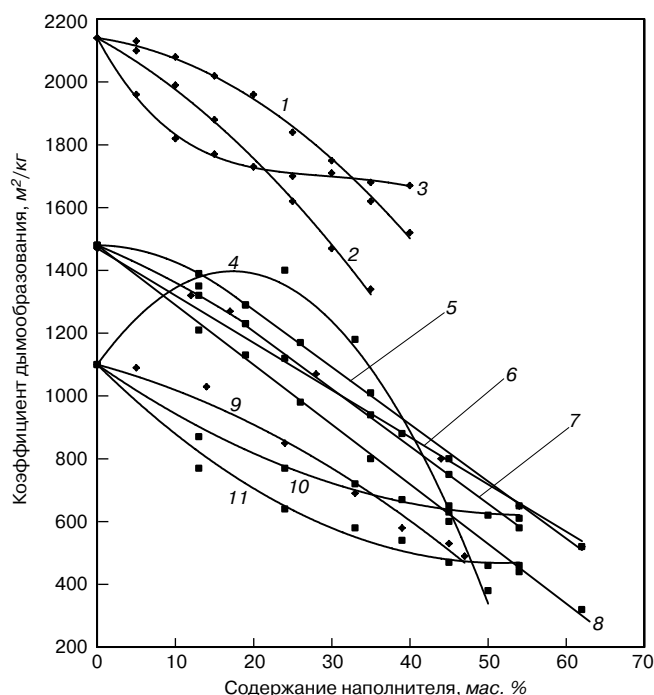


Рис. 6. Зависимость дымообразующей способности ПСМ в режиме пиролиза от содержания минеральных наполнителей: 1, 10, 11 – мел; 2 – ZnO; 3 – TiO₂; 4 – SiO₂; 5 – Al₂O₃; 6 – каолин; 7, 9 – Mg(OH)₂; 8 – Al(OH)₃; 1, 2, 3 – полипропилен; 4, 6, 9, 10 – материалы на основе синтетического каучука ККС-30АРКМ-15; 5, 7, 8, 11 – наполненный пластифицированный полимер ЭД-20

пламеняемости ПСМ превосходят неразлагающиеся. Для полимеров, разлагающихся практически полностью при повышенной температуре (полиолефинов), $\text{tg}\alpha$ для неразлагающихся наполнителей имеет более высокие значения, чем для полимеров, склонных к карбонизации. Поэтому в трехмерных полимерах (ЭД-20) эффективность неразлагающихся наполнителей значительно меньше, чем у линейных полимеров. Величина $\text{tg}\alpha$ угла наклона прямых может быть использована для нахождения стехиометрического коэффициента сгорания исследованных ПСМ. Этот вывод служит косвенным подтверждением достоверности принятой тепловой модели процесса снижения горючести ПСМ.

Линейный характер зависимости $100/\text{КИ}$ от величины k (рис. 4) позволяет получить простое эмпирическое соотношение, пригодное для расчета величины КИ ПСМ, содержащих неразлагающиеся наполнители в виде:

$$\text{КИ} = 100 / (A - B \cdot k \cdot c_{\text{уд}}), \quad (2)$$

где A – отношение $100/\text{КИ}$ полимерного связующего; B – коэффициент пропорциональности. Для полиолефинов: $\text{КИ} = 100 / (5,7 - 1,6 \cdot k \cdot c_{\text{уд}})$.

В таком виде расчетное соотношение хорошо описывает все полученные экспериментальные результаты по оценке горючести ПСМ методом КИ. Оно может быть использовано для оценки абсолютных значений КИ различных ПСМ, а также применимо и для композиций, содержащих смесь различных наполнителей. В этом случае $k \cdot q_n$ представляется в виде суммы произведений $\sum (k \cdot q_n)_i$, соответствующих каждому компоненту комбинированного наполнителя.

Таким образом, совокупность полученных в работе экспериментальных данных показывает, что основным параметром, определяющим влияние неорганического наполнителя на воспламеняемость ПСМ, является удельное количество тепла, поглощаемое наполните-

лем. Причем для всех исследованных наполнителей в широком диапазоне наполнения ПСМ выполняется с удовлетворительной степенью точности линейная зависимость величины $100/\text{КИ}$ от относительного содержания наполнителя, при этом $\text{tg}\alpha$ пропорционален q_n .

Исследованные ПСМ относятся к материалам с высокой дымообразующей способностью ($\mathcal{D}_m > 500 \text{ м}^2/\text{кг}$). Причем коэффициент дымообразования в режиме пиролиза, как правило, превышает $\mathcal{D}_m$ в режиме пламенного горения. $\mathcal{D}_m$ эпоксидных полимеррастворов в режимах пламенного горения и пиролиза линейно уменьшается соответственно с 1170–1350 и 640–770 до 350–550 и 130–230 $\text{м}^2/\text{кг}$ при увеличении содержания минеральных наполнителей с 16 до 60 мас. % (рис. 6). Это свидетельствует об аддитивном влиянии связующего и наполнителя на дымообразующую способность ПСМ и позволяет рассчитывать $\mathcal{D}_m$ полимеррастворов по данным о дымовыделении составляющими его компонентами.

Для материалов на основе синтетического каучука ККС-30АРКМ-15 и РШ в режиме горения максимальные значения $\mathcal{D}_m$ реализуются при содержании наполнителя 15–25 мас. %, после чего дымообразующая способность эластомеров снижается (рис. 6). С точки зрения снижения дымовыделения эластомеров наиболее эффективным наполнителем является $\text{Al}(\text{OH})_3$, одновременно имеющий и пламягасящее действие.

Таким образом, при содержании до 60 мас. % минеральных наполнителей незначительно снижают воспламеняемость и горючесть ПСМ, но существенно уменьшают их дымообразующую способность. Поэтому выбор минеральных наполнителей следует проводить лишь с учетом требуемых эксплуатационных показателей ПСМ.

Ключевые слова: воспламеняемость, минеральный наполнитель, кислородный индекс, удельная теплоемкость, пожарная опасность, коэффициент дымообразования.

Список литературы

1. Воробьев В.А., Андрианов Р.А., Ушков В.А. Горючесть полимерных строительных материалов. М.: Стройиздат. 1979. 224 с.
2. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головин Г.С. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / Под общ. ред. А.А. Берлина. СПб.: Профессия, 2008. 506 с.
3. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технология. Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2010. С. 278–296.
4. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров. М.: Химия, 1989. 192 с.
5. Ушков В.А., Абрамов В.С., Григорьева Л.С., Кирьянова Л.В. Термостойкость и пожарная опасность эпоксидных полимеррастворов // Строительные материалы. 2011. № 12. С. 68–71.
6. Ушков В.А., Лалаян В.М., Нагановский Ю.К., Кулев Д.Х. и др. Горючесть наполненных полиолефинов // Пластические массы. 1988. № 10. С. 56–58.
7. Ушков В.А., Лалаян В.М., Булгаков Б.И., Кулев Д.Х. и др. Пожарная опасность и эксплуатационные свойства материалов на основе вторичного ПВХ // Пластические массы. 1985. № 9. С. 53–56.
8. Лалаян В.М., Скраливецкая М.С., Ушков В.А., Халтуринский Н.А. Термохимические параметры свечного горения полимерных материалов вблизи предела // Химическая физика. 1989. Т. 8. № 1. С. 112–115.

Е.В. ВОЙТОВИЧ, канд. техн. наук, Н.И. КОЖУХОВА, инженер (kozhuhanata@yandex.ru), И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, канд. геол.-минерал. наук, А.В. ЧЕРЕВАТОВА, д-р техн. наук, Д.Д. НЕЦВЕТ, инженер, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Концепция контроля качества алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения*

Необходимым условием совершенствования существующих и развития новых технологий производства качественных материалов строительного назначения является обеспечение полного мониторинга всего технологического процесса с применением не только классических, но и новых, современных методов контроля, способных обеспечить комплексную оценку качества на всех этапах производства.

При этом отсутствие нормативной документации как на новые виды вяжущих, так и на методы их испытаний на территории РФ и за рубежом является препятствием для сертификации продукции и производства, что снижает ее конкурентоспособность и затрудняет выход на рынок строительных материалов [1–3].

Таким образом, на современном этапе развития строительной отрасли большинство специалистов вынуждены констатировать неспособность существующих методов обеспечить корректный анализ основных свойств новых строительных материалов, включая алюмосиликатные вяжущие негидратационного типа твердения (полимеризационного и полимеризационно-поликонденсационного) в связи с отсутствием необходимого метрологического обеспечения. Это приводит к тому, что рассматриваемые вяжущие и строительные композиты на их основе не могут конкурировать с имеющимися аналогами на современном рынке строительных материалов ввиду невозможности их надлежащей сертификации наравне с традиционной строительной продукцией.

Поэтому возникает необходимость выбора базовых методов-аналогов, позволяющих определять основные показатели для алюмосиликатных вяжущих полимеризационного (геополимерное вяжущее) и полимеризационно-поликонденсационного (наноструктурированное силикатное вяжущее) типов твердения и установить нормы и требования к ним, что позволит обеспечить качество выпускаемой продукции на их основе.

Наноструктурированное силикатное вяжущее НВ(S) — это неорганическая полидисперсная и минеральная вяжущая система, имеющая преимущественно силикатный состав и обладающая высокой концентрацией активной твердой фазы, содержащей нанодисперсный компонент [4].

Геополимерное вяжущее ГПВ — это преимущественно аморфная алюмосиликатная система, приобретающая вяжущие свойства в сильной щелочной среде [5, 6].

Механизм структурообразования этих вяжущих систем имеет общую природу и выглядит следующим образом.

Первым шагом химического процесса является растворение силикатного (в случае НВ(S)) или алюмосили-

катного (в случае ГПВ) компонента. Растворяясь в среде сильных оснований, алюминий и кремний образуют ионы алюминатов и ортокремниевой кислоты. Сформировавшиеся комплексы $Al(OH)_4$ и $Si(OH)_4$ выступают в качестве мономеров, которые в процессе дальнейшей сополимеризации в различных пропорциях образуют алюмосиликатный гель, а затем конечную полимерную структуру путем конденсации $Al(OH)_4$ и $Si(OH)_4$ групп с образованием Si-O-Si и Si-O-Al связей [6, 7].

Отличительной особенностью производства строительных продуктов на основе рассматриваемых вяжущих является наличие стадии получения самого вяжущего продукта (совмещение технологии получения вяжущего и материалов на его основе), которая является неразрывной частью всего технологического процесса. В то же время технология получения большинства композитов с использованием традиционных вяжущих аналогов (цементных, гипсовых и т. д.) предусматривает использование уже готового вяжущего продукта в качестве сырьевого компонента. В данном случае параметры контроля, необходимые для регулирования качества вяжущей системы, и параметры контроля качества готовой строительной продукции регулируются на разных предприятиях независимо друг от друга, что возможно за счет наличия стандартных методов контроля на применяемые вяжущие.

Учитывая, что силикатные и алюмосиликатные вяжущие и продукты на их основе имеют специфические особенности производства, отличные от стандартных вяжущих систем, существующие методы испытаний и требования к показателям, позволяющим обеспечить единство измерения при оценке их качества, на данный момент отсутствуют.

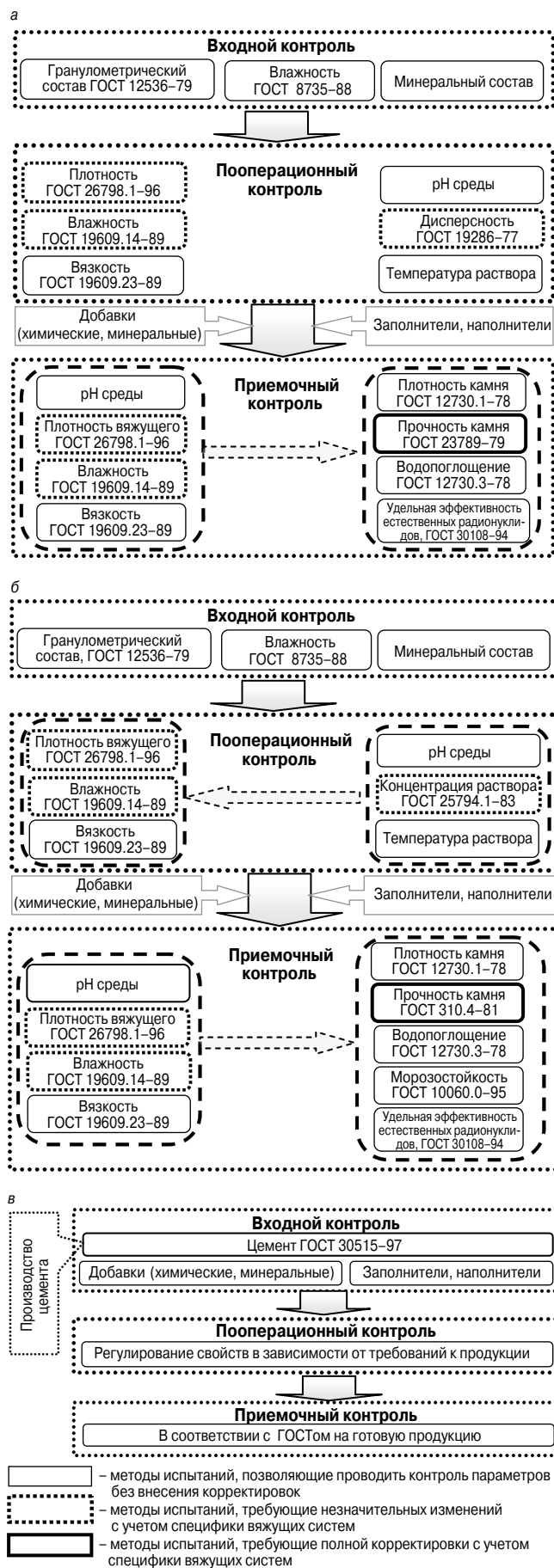
В процессе получения экспериментальных вяжущих был проведен анализ основных контролируемых параметров, который позволил определить методы испытаний, наиболее близкие для данных систем.

На этом основании, а также с учетом особенностей получения и основных свойств НВ(S) и ГПВ систем предложены схемы мониторинга свойств данных вяжущих для обеспечения качества продукции (см. рисунок).

Приведенные на рисунке схемы операционного контроля отражают характер взаимосвязи исследуемых параметров при получении рассматриваемых вяжущих систем. При этом определена последовательность регулирования основных параметров, определяющих качество конечного вяжущего продукта.

Сравнивая приведенные схемы операционного контроля, следует отметить, что входной контроль в технологии получения композитов на основе силикатного

* Работа выполнена при финансовой поддержке: Министерства образования и науки Российской Федерации, государственное задание 3.4601.2011, программа стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; РФФИ, договор 12-08-97603, 13-03-90739; в рамках гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых МК 6170.2013.8.



и алюмосиликатного вяжущих (рисунок, а, б) предусматривает контроль основных параметров, таких как: минеральный, гранулометрический составы, влажность сырьевых компонентов.

В то же время технология получения продукта на основе традиционного вяжущего (в данном случае цементного, рисунок, в) исключает данную стадию контроля, поскольку это осуществляется при приготовлении самого вяжущего продукта в условиях отдельного производства.

С учетом особенностей вяжущих НВ(С) и ГПВ проведенный анализ позволил определить оптимальные методы испытаний и степень возможности их применения при оценке качества получаемых систем. На основании этого, применительно к данным вяжущим, предложенные методы испытаний следует классифицировать следующим образом:

1. Методы испытаний, позволяющие проводить контроль параметров без внесения каких-либо корректировок при проведении измерений.

Они предполагают использование в полной мере существующих (стандартных) методов испытаний или методик анализа для получения достоверных результатов. К ним относятся методы проведения химического анализа, измерения температуры, pH среды, вязкости теста, водопоглощения, морозостойкости, удельной эффективности активности естественных радионуклидов.

2. Методы испытаний, требующие незначительных изменений с учетом специфических требований, предъявляемых к сырьевым компонентам, а также особенностей приготовления рассматриваемых вяжущих систем.

Особенность данных методов заключается в незначительных отклонениях от стандартных методик при подготовке тестируемого вещества для проведения необходимых измерений. В данном случае к методам такого рода можно отнести определение дисперсности, плотности и влажности вяжущей системы.

3. Методы испытаний, требующие разработки новых подходов при определении контролируемых параметров разрабатываемых вяжущих. В данную группу для рассматриваемых алюмосиликатных вяжущих следует выделить метод определения предела прочности при сжатии.

Относительно ГПВ наиболее близким аналогом для контроля прочностных характеристик является стандарт на цемент (ГОСТ 10180-90). Согласно данной методике образцы-балочки твердеют в течение 28 сут в условиях 95% влажности и комнатной температуре ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) для обеспечения практически 100% прочности изделия. Учитывая характер структурообразования ГПВ, следует принять во внимание следующие особенности данного вяжущего: в зависимости от природы алюмосиликатного компонента, а также от вида щелочного активатора скорость процесса структурообразования различна, но в естественных условиях данный процесс протекает достаточно медленно, поэтому твердение и соответственно набор прочности композита могут происходить длительное время, вплоть до нескольких месяцев. Таким образом, для ускорения процесса структурообразования данной системы целесообразно применять термоактивацию в диапазоне $60-90^\circ\text{C}$. В этом случае набор прочности идет достаточно интенсивно и достигает максимального значения в течение 1 сут.

В случае НВ вяжущих наиболее близким аналогом для контроля прочностных характеристик является стандарт на гипс (ГОСТ 23789-79). Согласно данной методике образцы-балочки твердеют в течение 2 ч в естественных условиях при комнатной температуре ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). Учитывая характер структурообразования НВ, следует принять во внимание следующие особен-

Наименование показателя	Единица измерения	Норма	
		ГПВ	НВ
Предел прочности при сжатии	МПа	Не менее 10	Не менее 13
Предел прочности при изгибе	МПа	Не менее 2	Не менее 2
Плотность камня	кг/м ³	2000–2250	2000–2250
Остаток на сите № 0063	%	–	Не более 1
Вязкость	Па·с	Не менее 25	Не более 25
рН среды	рН	12,5–14	11–13
Удельная эффективность естественных радионуклидов	Бк/кг	370	370
Морозостойкость	цикл	Не менее 15	–
Коэффициент размягчения		Не менее 0,8	–

ности данного вяжущего: твердение и соответственно набор прочности композита происходят прямо пропорционально удалению влаги, поэтому максимальные прочностные свойства достигаются при воздействии сушки через 3 сут, а в естественных условиях при возрасте 28 сут.

Кроме того, для этих типов вяжущих вода выступает в качестве среды и не участвует в структурообразовании. Напротив, избыток влаги снижает показатель рН системы, препятствуя процессу структурообразования.

Таким образом, необходимость выделения отдельной группы контроля подобного характера применительно к рассматриваемым системам связана с тем, что для вяжущих полимеризационного и полимеризационно-поликонденсационного типов твердения характерны принципиально иные механизмы структурообразования и, как следствие, технология приготовления и характер их твердения в сравнении с существующими вяжущими аналогами.

Применение НВ(С) и ГПВ в настоящее время является ограниченным в силу их слабой изученности, а также отсутствия необходимой нормативной документации, содержащей перечень норм и требований к показателям, выступающим в качестве критерия качества получаемого продукта на их основе.

С этой целью были проанализированы основные свойства получения исследуемых вяжущих, а также определены нормы и требования к параметрам контроля производства, позволяющие обеспечить качество готовой продукции с использованием НВ(С) и ГПВ (см. таблицу).

Необходимо отметить, что перечень контролируемых параметров для обоих типов вяжущих не имеет существенных различий, как в качественном отношении, так и в числовом выражении приведенных критериев.

Следует предположить, что сходство в минералогии сырьевых компонентов, а также механизмах структурообразования данных вяжущих систем является основной причиной идентичности данных, приведенных в таблице. В то же время различия некоторых показателей изучаемых вяжущих (рисунок, таблица) следует объяснить тем, что технологии их получения принципиально различны между собой.

Предложенная концепция контроля качества может выступать в качестве базовой платформы для разработки необходимой нормативно-технической документации рассматриваемых вяжущих полимеризационного и полимеризационно-поликонденсационного типов твердения. Это позволит получать высококачественные продукты строительного назначения в промышленном масштабе, а также обеспечить возможность их внедрения для обеспечения конкурентоспособности на рынке строительных материалов.

Ключевые слова: алюмосиликатное вяжущее, вяжущее полимеризационного и полимеризационно-поликонденсационного типов твердения.

Список литературы

1. Строчкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В., Мирошников Е.В., Шаповалов Н.А. Оценка эффективности применения наноструктурированного вяжущего при получении легковесных ячеистых композитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 48–51.
2. Строчкова В.В., Павленко Н.В., Мирошников Е.В. Комплексная система мониторинга и управления процессом получения наноструктурированного вяжущего // Строительные материалы. 2011. № 5. С. 54–56.
3. Лесовик В.С., Потапов В.В., Алфимова Н.И., Ивашова О.В. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов // Строительные материалы. 2011. № 12. С. 60–62.
4. Череватова А.В., Жерновский И.В., Строчкова В.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технология и перспективы применения. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Dudweiler Landstr. 99, 661123 Saarbücken, Germany, 2011. 170 с.
5. Zhang Y. S. Hydration process of potassium polysialate (K-PSDS) geopolymer cement / W. Sun and Z.J. Li // Advances in Cement Research. 2005. № 1. Pp. 23–28.
6. Loewenstein W. The Distribution of Aluminum in the Tetrahedra of Silicates and Aluminates // American Mineralogist. 1954. Vol. 39. P. 92–96.
7. Khale D., Chaudhary R. Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: a review. // Journal of Materials Science. 2007. 42. P. 729–746.

ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
журнала «Строительные материалы»®



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

В.С. ЛЕСОВИК, д-р техн. наук, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; М.А. ФРОЛОВА, канд. хим. наук (aizenmaria@gmail.com), А.М. АЙЗЕНШТАДТ, д-р хим. наук, Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова (Архангельск);

Поверхностная активность горных пород*

Анализ и обобщение исследований по физико-химическим основам генезиса горных пород как сырья стройиндустрии, проведенный в [1, 2], позволил сформулировать основные положения процесса образования минералов и горных пород с точки зрения природы и состояния поверхности гетерогенных конденсированных фаз. При этом одним из основных параметров, по которому можно исследовать поверхность и контролировать изменение ее характеристик в реальных процессах, являются по [1] кислотно-основные свойства, которые во многом определяют реакционную способность твердого вещества. Вместе с тем модель строения поверхности твердого тела, учитывающая только адсорбционные центры, например Льюисовские основные, Бренстедовские кислотные, не может учитывать потенциальную ее возможность проявлять активность в таких сложнейших процессах, как, например, диффузия, капиллярные явления и пр. Особенно это важно для материалов в высокодисперсном состоянии, которым свойственна неоднородность поверхности, состоящей из частиц нано- и микроразмерной степени дисперсности.

Однако оценить общую склонность поверхности высокодисперсной системы к трансформационным превращениям можно исходя из термодинамической характеристики ее энергетического состояния, которое определяется как уровнем общего запаса потенциальной энергии горной породы (зависит от генезиса), так и ее части, перешедшей в поверхностную энергию при образовании новой поверхности твердого тела в процессе дробления материала. При этом надо учесть, что данный энергетический переход количественно определяется многими факторами: размером частиц, их структурой и формой, минеральным составом, дефектностью кристаллической решетки породообразующих минералов, газовой воздушными и другими включениями, химической природой и т. д. В то же время мерой общего запаса энергии горных пород, как показано в работе [3], является энергия атомизации (E_a) или, если относить ее к молярной массе вещества, составляющего горную породу, удельная массовая энергия атомизации (E_m , Дж/кг). В [3] на примере двух горных пород различного генезиса (базальт и полиминеральный песок) показана возможность расчета величины E_a на основе анализа их минерального состава. Кроме того, в исследованиях [4, 5], отработана методика определения величины свободной поверхностной энергии нанодисперсных материалов данных горных пород по значению поверхностного натяжения (σ_k — поверхностная энергия единицы площади поверхности, Дж/м²). Продолжая работы в этом направлении, в [7] показана возможность термодинамического расчета величины свободной поверхностной энергии (E_s , Дж/кг) высокодисперсной системы с учетом ее удельной поверхности ($S_{уд}$, м²/кг).

$$E_s = \sigma_k \cdot S_{уд}. \quad (1)$$

Тогда отношение E_s/E_m представляет собой некий параметр (k_s), характеризующий уровень использования запаса потенциальной энергии, заключенной в горной породе за счет активации ее поверхности — поверхностную активность высокодисперсных систем горных пород.

Целью исследований данной работы является расчет величины поверхностной активности ультрадисперсных систем, полученных диспергированием модельных образцов горных пород (базальт, полиминеральный песок). Эти результаты предположительно могут являться фундаментальной научной базой для проведения дальнейших полномасштабных исследований по построению общей энергетической классификации высокодисперсных материалов различного происхождения, используемых в качестве сырья для получения композитов строительного назначения.

Основные методики, используемые в этой работе при проведении экспериментов, описаны в статьях [3, 4–7], кроме того, там же приведена физико-химическая характеристика образцов базальта и речного полиминерального песка. Расчет энергетических характеристик исходных образцов и композиционных смесей производился на основании фундаментальных термодинамических положений [3].

В качестве сырьевых материалов использовались горные породы Архангельской области: базальт (месторождение горы Мяндуха в Плесецком районе) — эффузивная магматическая порода — и кремнеземсодержащая порода осадочного происхождения (речной песок месторождения Кеница), стадия поздний катагенез. Исходные образцы доводились до постоянной массы при температуре 105°C. Измельчение исходных материалов проводилось на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100. Размер частиц полученных фракций определялся на анализаторе размера субмикронных частиц DelsaNano. Средний размер высокодисперсных образцов базальта составил 360±98 нм, кремнеземсодержащей породы — 266±69 нм (93 и 92% от общего содержания соответственно). Фракционное размерное распределение полученных высокодисперсных образцов представлено в работе [7]. Дополнительно, для подтверждения размерных характеристик высокодисперсных образцов были получены методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на электронном микроскопе Zeiss SIGMA VP фотографии опытных образцов горных пород в высокодисперсном состоянии (электронная микроскопия проводилась в ЦКП САФУ «Арктика») (рис. 1, 2).

Композиционные смеси базальта и кремнеземсодержащей породы получались путем механического перемешивания исходных высокодисперсных образцов.

* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (ГК № 14.518.11.7018).

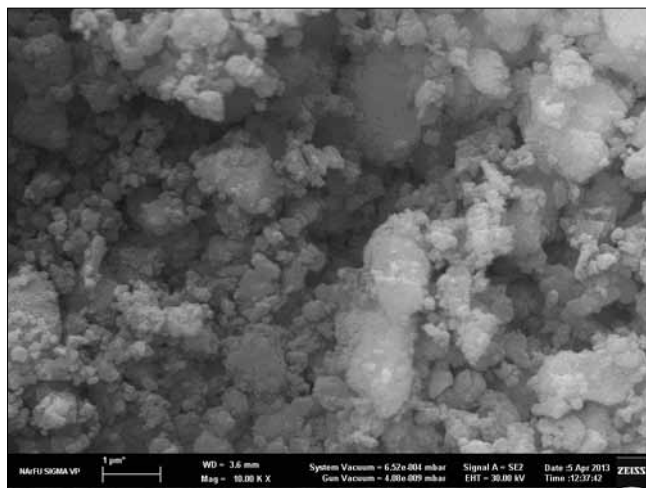


Рис. 1. Изображение (РЭМ) образца базальта со средним размером частиц 360 ± 98 нм

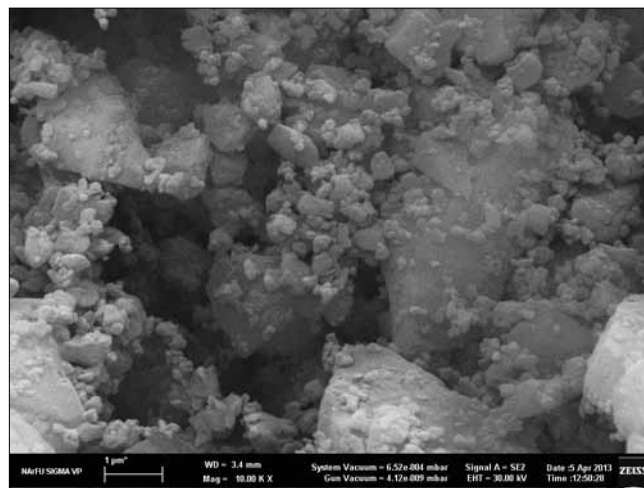


Рис. 2. Изображение (РЭМ) образца песка со средним размером частиц 266 ± 69 нм

Для расчета удельных величин энергии атомизации (E_m) исходных высокодисперсных материалов и композиционных смесей были определены истинные плотности (ρ) всех испытуемых образцов пикнометрическим методом (по ГОСТ 5180–84). Удельная площадь поверхности анализируемых проб измерялась на установке Autosorb-iQ-MP методом сорбции азота. Критическое поверхностное натяжение исследуемых материалов определялось при помощи установки KRUS EasyDrop. Для этого использовались экспериментально полученные значения угла смачивания поверхности проб. В качестве стандартной жидкости применялся водный раствор этанола с различным объемным содержанием воды (4–50 об. %). Температура измерений во всех сериях колебалась в пределах $20\pm2^\circ\text{C}$. Критическое поверхностное натяжение рассчитывалось посредством построения графических зависимостей $\cos\theta=f(\sigma_{жс})$. Величина энергии поверхности E_s вычислялась исходя из общей площади поверхности диспергированного образца по выражению (1).

Данные, полученные в ходе экспериментов по определению $\sigma_{жс}$, $S_{уд}$ и ρ , а также в результате проведенных расчетов энергетических характеристик E_a , E_m , представлены в таблице.

Экспериментальные данные позволили рассчитать поверхностную активность высокодисперсных образцов базальта ($k_s=0,42\times10^{-5}$) и полиминерального речного песка ($k_s=0,29\times10^{-5}$); при этом значения свободной поверхностной энергии (E_s) исследуемых материалов составляют: 112 Дж/кг и 79 Дж/кг соответственно. Порядок полученных величин E_s хорошо согласуется с литературными данными. Так, в [8] автор, основываясь на значениях поверхностной и линейной плотности энергии ребра (2×10^{-5} Дж/см², 3×10^{-13} Дж/см), приводит рас-

четную величину поверхностной энергии кристаллов с длиной ребра 1000 нм, равную 560 Дж/кг.

Обращает на себя внимание факт уменьшения поверхностной активности горных пород, который отмечается при смешивании высокодисперсных образцов базальта и полиминерального песка в сравнении с исходными материалами. Так, в этом случае E_s композитных смесей изменяется в пределах 67–74 Дж/кг.

На рис. 3 представлена зависимость $E_s=f(E_m)$, которая имеет линейный характер с высоким коэффициентом достоверности аппроксимации $R_2=0,98$ и описывается уравнением прямой линии, исходящей из начала координат:

$$E_s=0,3\times10^{-5}E_m. \quad (2)$$

Приведенные данные показывают, что поверхностная активность композиционной смеси (k_s) исследуемых высокодисперсных образцов базальта и полиминерального песка, равная угловому коэффициенту вышеприведенной зависимости, имеет постоянное значение $0,3\times10^{-5}$.

Практически идеальная линейная зависимость (рис. 3) между двумя параметрами, рассчитанными не связанными друг с другом методами (E_m – расчет на основании минерального состава, E_s – расчет на основании экспериментальных данных по $\sigma_{жс}$ и $S_{уд}$), может свидетельствовать о корректности применяемого подхода.

Таким образом, полученные данные показывают, что, например, в системе базальт – полиминеральный песок варьирование состава компонентов приводит к изменению общего энергетического запаса композита, однако возможная доля полезного использования этого

Доля песка	$(\rho\pm0,02)\times10^{-3}$, кг/м ³	E_a , кДж/моль	$E_m\times10^{-3}$, кДж/кг	$(\sigma_{жс}\pm0,02)\times10^3$, Дж/м ²	$S_{уд}$, м ² /кг
0	2,99	1892,75	26,46	17,28	6446±774
0,2	2,83	1872,13	26,57	12,53	5362±643
0,3	2,78	1861,82	26,63	13,13	5200±624
0,5	2,83	1841,2	26,75	10,4	6883±826
0,7	2,78	1820,58	26,86	16,33	4537±544
1	2,57	1789,65	27,03	16,45	4822±579

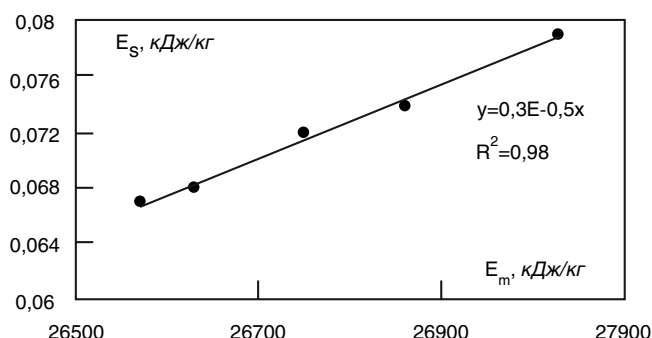


Рис. 3. Зависимость $E_s=f(E_m)$ для композита на основе высокодисперсных базальта и полиминерального песка

энергетического потенциала в виде свободной поверхностной энергии при производстве строительных материалов остается постоянной.

Важный вывод, который можно сформулировать по вышеизложенному материалу, заключается в том, что в качестве основного критерия количественной энергетической классификации сырья на основе горных пород для получения строительных композитов можно использовать величину поверхностной активности (k_s). Кроме того, представлена модель экспериментального определения параметров, необходимых для проведения расчета k_s .

Ключевые слова: горные породы, энергия атомизации, удельная массовая энергия атомизации, величина энергии поверхности, поверхностная активность.

Список литературы

1. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. Белгород: Изд. БГТУ, 2012. 213 с.

2. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород: Научное издание. М.: Издательство АСВ, 2006. 526 с.

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

4. Фролова М.А., Тутыгин А.С., Айзеништадт А.М., Лесовик В.С., Махова Т.А., Поспелова Т.А. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. № 2(4). С. 1–6.

5. Вешнякова Л.А., Фролова М.А., Айзеништадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53–56.

6. Тутыгин А.С., Айзеништадт А.М., Лесовик В.С., Фролова М.А., Боброва М.П. Проектирование состава строительных композитов с учетом термодинамической совместимости высокодисперсных систем горных пород // Строительные материалы. 2013. № 3. С. 74–75.

7. Абрамовская И.Р., Айзеништадт А.М., Фролова М.А., Вешнякова Л.А., Тутыгин А.С. Энергетика высокодисперсных композитов горных пород // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал (<http://www.nanobuild.ru/>). 2013. № 3. С. 56–65.

8. Цао Гонжун, Ин Ван. Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение / Пер. с англ. 2-го изд. А.И. Ефимова, С.И. Каргов. М.: Научный мир, 2012. 520 с.



Новосибирский государственный аграрный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Выставочный центр «ITE Сибирская ярмарка»



Международная научно-техническая конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ»

29–30 января 2014 г.

Новосибирск, Экспоцентр

Темы конференции:

1. Теоретические и методологические вопросы науки об инновационных технологиях.
2. Роль физико-химических исследований в создании конкурентно способных материалов и технологий.
3. Совершенствование материально-технической базы для инноваций в производстве строительных материалов.

4. Применение добавок и технологических приемов для повышения качества строительных материалов.
5. Нормативная база и экономико-организационные вопросы внедрения эффективных технологий в строительном комплексе.

Материалы для сборника научных трудов направлять до 31.12.2013 г. по e-mail: gmunsau@mail.ru;
по почте: 630099, г. Новосибирск-99, Главпочтамт, а/я № 257 Пичугину А.П.

Информационная поддержка:

Научно-технический журнал **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®**

Оргкомитет:

Новосибирск, ул. Добролюбова, 160
Тел/факс: 8(383)-267-12-54

Российская корпорация купила завод в Италии

Корпорация ТехноНИКОЛЬ, производитель и поставщик кровельных, гидроизоляционных и теплоизоляционных материалов, приобрела завод Italiana Membrane. Предприятие основано в 1988 г. В 2011 г. оборот завода Italiana Membrane составил 50 млн евро. 29% продукции предприятия идет на экспорт в страны Северной и Латинской Америки, Ближнего Востока, Скандинавии. У завода около 1000 торговых партнеров. Сумма сделки составила 8 млн евро. Приобретение предприятия позволит ТехноНИКОЛЬ усилить позиции на международном рынке.

Мощность Italiana Membrane составляет 20 млн м² продукции в год. На предприятии установлены три линии по производству битумно-полимерных рулонных материалов, одна ли-

ния битумной черепицы, одна — гидроизоляционных мастик, в том числе и на водной основе, одна линия полимерных мембран на базе ТПО и одна — тепло- и гидроизоляционных панелей, которые до настоящего времени не были представлены в линейке продукции ТехноНИКОЛЬ.

Вся продукция Italiana Membrane сертифицирована в соответствии с европейскими нормами, в том числе предприятие имеет сертификат SINTEF Норвежского института строительных исследований. Завод входит в Совет по экологическому строительству Италии (Green Building Council).

Техническое состояние Italiana Membrane позволяет в ближайшее время не делать крупных инвестиций. В соответствии с планами развития в течение нескольких лет мощности обновляться не будут, последующий анализ рынка позволит оценить необходимость модернизации.

ТехноНИКОЛЬ запустила вторую производственную линию на заводе в Рязани

На заводе «Лоджикруф» в Рязани состоялся запуск второй линии по производству передовых синтетических гидроизоляционных материалов на основе пластифицированного ПВХ. Мощность новой производственной линии аналогична первой и составляет 10 млн м² гидроизоляционных мембран в год. Инвестиции в расширение производства составили 350 млн р.

Оборудование было разработано специально для корпорации ТехноНИКОЛЬ итальянскими специалистами. Высокий уровень автоматизации производства не требует большого количества рабочих — существующая команда будет обслуживать обе линии. При этом производительность труда на заводе «Лоджикруф» выше, чем на подобных производствах в Европе.

По материалам корпорации ТехноНИКОЛЬ

«Невьянский цементник» получил «зеленый» сертификат

Союз предприятий строительной индустрии Свердловской области присвоил всем цементам (ЦЕМ I 42,5Н; ЦЕМ II/A-Ш 32,5Н и ЦЕМ II/B-Ш 32,5Н) ЗАО «Невьянский цементник», входящего в холдинг «ЕВРОЦЕМЕНТ групп», сертификат о соответствии категории экологически чистых, «зеленых» строительных материалов. Экологический сертификат подтверждает безопасность производимых предприятием цемента для человека и окружающей среды и действителен до 2018 г.

Внедряемая система экологической сертификации в Свердловской области была инициирована областным Союзом стройиндустрии в 2012 г. Предложенный ими «Стандарт производства экологически чистых «зеленых» строительных материалов и изделий» устанавливает обязательные для применения и исполнения требования экологической безопасности к продукции.

В основу стандарта заложено десять основных критериев экологичности материалов и изделий. Среди них: производство с использованием местного сырья или местных техногенных отходов на условиях обеспечения безопасности для здоровья человека и окружающей среды на протяжении жизненного цикла построенных из этих материалов зданий и (или) сооружений; способность к утилизации и повторному использованию; отсутствие выбросов токсичных и вредных газов; снижение потребления воды, тепла, газа, электроэнергии при эксплуатации зданий и сооружений, построенных с использованием «зеленых» материалов и изделий; ограничение воздействия шума в целях обеспечения удовлетворительных и безопасных условий для ночного сна, отдыха и работы людей и др.

Для получения «зеленого» сертификата строительные материалы и изделия должны соответствовать минимум восьми требованиям. Продукция «Невьянского цементника» соответствует всем десяти выдвинутым критериям стандарта и имеет высшую оценку от оргкомитета конкурса.

«Мальцовский портландцемент» инвестировал в экологическую безопасность

ЗАО «Мальцовский портландцемент» (холдинг «ЕВРОЦЕМЕНТ групп») ввело в эксплуатацию новый рукавный фильтр компании CIPRIS FILTR BRNO s.r.o. (Чехия) на холодильнике вращающейся печи № 7. Стоимость реализации проекта составила 24,5 млн р. Установка фильтра стала завершающим этапом плана мероприятий по повышению экологичности производства, согласованного с управлениями Ростехнадзора и Роспотребнадзора по Брянской области и утвержденного администрацией Брянской области в 2010 г.

Все мероприятия выполнены предприятием в полном объеме и в установленные сроки. Среди них: установка двух новых электрофильтров на вращающейся печи № 7 производства компании «Альстом Пауэр Ставан» (Франция —

Швеция) (стоимость проекта 218,3 млн р.); замена рукавных фильтров на пересыпках добавок № 5, 6 (3,92 млн р.); модернизация рукавных фильтров упаковочных машин № 1, 2 (3,85 млн р.); модернизация рукавного фильтра цементной мельницы № 7 (0,214 млн р.); установка современных рукавных фильтров на загрузочных транспортерах цементных мельниц № 11–16 производства компании SIMATEK (Дания) (стоимость проекта 25,6 млн р.) В целом в рамках инвестиционной программы холдинга «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» с целью повышения экологичности производства и снижения влияния на окружающую среду с 2007 г. на «Мальцовском портландцементе» было реализовано несколько крупных проектов, общая стоимость которых составила более 625 млн р.

По материалам пресс-службы «ЕВРОЦЕМЕНТ групп»

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

В Иваново запущена новая производственная линия

Новейшее строительное оборудование введено в эксплуатацию на Ивановском комбинате строительных конструкций (КСК) в рамках контракта между компанией и итальянской фирмой Nordimpianti Sistem S.R.L. Контракт на поставку технологического оборудования на сумму 1 млн евро был подписан в мае текущего года. В настоящее время компания осуществляет комплексное снабжение застройщиков и подрядчиков на всех этапах строительства. Комбинат производит железобетон (ЖБИ), пустотные плиты, строительные смеси,

металл и металлопрокат. Применение нового оборудования позволит снизить себестоимость выпускаемой продукции, улучшить качество стройматериалов. Кроме того, у комбината появятся перспективы выхода на межрегиональный уровень. Комбинат строительных конструкций работает в Ивановской области с 1976 г. В настоящее время численность работников составляет 200 человек, объем выпускаемой продукции 50 тыс. м³ сборного железобетона и товарных смесей в год, что составляет треть регионального рынка данного вида продукции.

По материалам информационного агентства REGNUM

Группа CRH стала крупнейшим производителем цемента в Украине

Компания Cement Roadstone Holdings завершила сделку по покупке завода «Николаевцемент» у французской компании Lafarge. Стоимость 99,26% акций составила 96 млн евро. С покупкой этого актива ирландская фирма станет крупнейшим производителем цемента в Украине с долей более 25%. Суммарный объем производства цемента других предприятий CRH — «Подольского цемента» (Хмельницкая обл.) и Одесского цементного завода в 2012 г. составил почти 2,7 млн т при общем производстве 9,8 млн т. До этого крупнейшим участником цементного рынка была немецкая Heidelberg Cement Group, объединяющая цементные заводы в Кривом Роге и г. Днепродзержинске (Донецкая обл.), а также поселке Новоамвросиевское и г. Енакиеве (Донецкая обл.), которые в 2013 г. совокупно выпустили 2,3 млн т цемента.

В покупке «Николаевцемент» для CRH есть и определенные риски. Данное предприятие построено в 1950 г. и изготавливает цемент достаточно энергоемким мокрым способом. Все другие большие заводы Украины производят цемент сухим способом, который дает возможность экономить 30–40% газа и выдавать более качественный продукт. Кроме того, экологи требуют провести реконструкцию пылегазоочистительного оборудования до уровня предельно допустимых норм. В противном случае они обещают инициировать приостановку предприятия. С учетом того что в июле 2013 г. властиprodлили «Николаевцементу» на пять лет разрешение на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, CRH, по всей видимости, постарается максимально компенсировать за это время свои затраты за счет эксплуатации существующих мощностей предприятия.

По материалам портала «Бетон.Ру»

ГВСУ «Центр» увеличивает мощность

Завершается второй этап масштабной модернизации производственных мощностей холдинга ГВСУ «Центр». Начаты работы по пуску в эксплуатацию нового цеха на 198-м комбинате железобетонных изделий (Можайский р-н Московской обл.). Инвестиции в обновление завода составили около 780 млн р.

Новый цех специализируется на изготовлении вертикальных наружных и внутренних стен.

В рамках членства в международном консорциуме по модернизации российской промышленности ГВСУ «Центр» заключило соглашение с ведущими европейскими производителями на поставку новейшего оборудования. В том числе специально для компании были разработаны роботы (по укладке плитки, утеплителя и др.), не применявшиеся до сих пор нигде в Европе.

После завершения модернизации производственная мощность возрастет на 90 тыс. м³. Отдачи в компании ожидают

уже в 2014 г., когда новые линии приведут к увеличению производства на 20%, снижению трудоемкости на 20–30% и себестоимости на 10–15%. Кроме того, в 2015 г. на заводе планируют установку трех новых кассетных линий производства ЖБИ, что позволит холдингу выйти на производственную мощность 600 тыс. м³ в год.

Запуском нового цеха на 198-м КЖИ завершается второй этап масштабной модернизации холдинга ГВСУ «Центр». На первом этапе в начале 2013 г. было обновлено производство на 250-м ЖБИ в г. Серпухове. Третий этап (2014 г.) — модернизация 183-го механического завода (Балашихинский район). Программа была начата в 2008 г., всего на перевооружение предприятий холдинга в течение последних четырех лет было направлено порядка 2,5 млрд р.

По материалам компании ГВСУ «Центр»

Рынок страхования строительных рисков растет

Рынок страхования строительно-монтажных рисков (СМР) по итогам 2013 г. вырастет на 10–15% — до 37–40 млрд р.; в 2014 г. темпы его роста будут зависеть от поступления страховых взносов по федеральным проектам.

Так, при базовом прогнозе темпы прироста взносов по этому виду страхования в 2014 г. составят 15–20%, объем сборов будет находиться в диапазоне 44–47 млрд р. При оптимистичном прогнозе темпы прироста взносов достигнут 20–25%, объем взносов составит 47–50 млрд р. За последние два года темпы прироста взносов в сегменте страхования СМР сокращались. Это было связано с реализацией основного объема масштабных государственных проектов, запланированных на 2011–2013 гг., и постепенным исчерпанием эффекта от выхода строительной отрасли из кризиса.

Поступление премий по масштабным государственным стройкам, связанным с проведением саммита АТЭС, Универсиады в Казани и Олимпиады в Сочи, уже завершено.

Премии по новым крупным федеральным проектам (реконструкция Транссибирской магистрали, инфраструктурное строительство, связанное с проведением Чемпионата мира по футболу в 2018 г., и другие проекты) начнут поступать не раньше 2014–2015 гг. В таких условиях темпы прироста взносов по страхованию СМР в 2013–2014 гг. замедлятся.

По прогнозу экспертов, в период 2014–2020 гг. рост взносов по страхованию СМР продолжится. В 2015–2017 гг. темпы прироста взносов начнут расти — пик страхования по новым крупным федеральным проектам придется именно на этот период. Уже в 2016 г. они могут превысить 30%.

По материалам рейтингового агентства «Эксперт РА»

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья — это сочинение небольшого размера (до 3-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.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- 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 импортирование 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); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языках; 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 г. 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 <http://www.rifsm.ru/page/7>

Building & Interiors

- Строительные материалы и Оборудование ▪ Инструменты и Крепеж
- Загородный дом ▪ Напольные покрытия ▪ Архитектурный и декоративный свет. Электрика ▪ Декор окна. Декоративный текстиль. Солнцезащита ▪ Интерьер. Отделочные материалы. Дизайн
- Двери и Замки ▪ Краски и Покрытия ▪ Обои

Строительство. Интерьер

1 – 4 апреля 2014

Москва, ЦВК «Экспоцентр»

Подробнее на сайте
www.mosbuild.com

MosBuild 20 лет –
строим будущее
вместе!

Главная строительная и
интерьерная выставка России

MosBuild

Архитектура ▪ Строительство ▪ Дизайн ▪ Декор



Генеральная
деловая газета:

ВЕДОМОСТИ
БЕЛЫЙ ПУТИН - RUSSIA - FINANCIAL TIMES

Официальный
информационный партнер:

НЕДВИЖИМОСТЬ
РИА

При поддержке:

Коммерсантъ



ЗАВОДЫ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХИХ СМЕСЕЙ

- фасовочные машины
- интенсивные смесители
- весовые дозаторы
- виброклассификаторы
- рукавные фильтры
- системы управления на базе PC и PLC

