

## СОДЕРЖАНИЕ

**Учредитель журнала:**  
ООО Рекламно-издательская  
фирма «Стройматериалы»

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

**Главный редактор**  
ЮМАШЕВА Е.И.

**Редакционный совет:**  
РЕСИН В.И.  
(председатель)

БАРИНОВА Л.С.  
БУТКЕВИЧ Г.Р.  
ВАЙСБЕРГ Л.А.  
ВЕДЕРНИКОВ Г.В.  
ВЕРЕЩАГИН В.И.  
ГОРИН В.М.  
ГОРНОСТАЕВ А.В.  
ГРИДЧИН А.М.  
ГУДКОВ Ю.В.  
ЖУРАВЛЕВ А.А.  
КОВАЛЬ С.В.  
КОЗИНА В.Л.  
ЛЕСОВИК В.С.  
ПИЧУГИН А.П.  
СИВОКОЗОВ В.С.  
ФЕДОСОВ С.В.  
ФЕРРОНСКАЯ А.В.  
ФИЛИППОВ Е.В.  
ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.

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

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

**Перепечатка**  
и воспроизведение статей,  
рекламных и иллюстративных  
материалов из нашего журнала  
возможны лишь с письменного  
разрешения главного редактора

**Редакция не несет ответственности**  
за содержание рекламы и объявлений

**Адрес редакции:**  
Россия, 117997, Москва,  
ул. Кржижановского, 13  
**Телефон: (926) 833-48-13**  
**Тел./факс: (495) 124-32-96**  
**124-09-00**  
**E-mail: mail@rifsm.ru**  
**http://www.rifsm.ru**

### Юбиляры отрасли

А.Н. ДАВИДЮК, Е.С. ФИСКИНД

**ОАО «Конструкторско-технологическое бюро бетона и железобетона»:  
45 лет в строительном комплексе Москвы и России** ..... 4

А.Н. ДАВИДЮК

**Легкие бетоны на стеклогранулятах** ..... 6

Представлены результаты исследования свойств легких бетонов, в которых использованы эффективные заполнители с аморфизированной структурой - стеклогрануляты (СГ). Показано, что такие бетоны имеют высокие прочностные и теплофизические свойства.

Е.С. ФИСКИНД, Т.А. УХОВА

**Автоклавный ячеистый бетон – экономичный и эффективный  
материал для строительства любой этажности** ..... 8

Представлены характеристики продукции передовых российских предприятий. Доказано, что изделия из автоклавного ячеистого бетона должны найти широкое применение для возведения ограждающих конструкций, в том числе в высотном строительстве.

### Технология бетонов: наука и практика

В.Г. САТЯНОВ, И.Б. ЧУГАЙ, Л.Г. ЛИПАТОВА, Г.С. КАРДУМЯН

**Новые технологии и материалы для капитального ремонта  
дымовых труб ТЭЦ** ..... 10

Описана технология реконструкции дымовой трубы ТЭЦ, которая предусматривает возведение монолитной керамзитобетонной футеровки. Приведен состав керамзитобетона, который имеет класс по прочности не ниже В15, водонепроницаемость W16.

С.И. ПУЗАНОВ

**Особенности использования материалов на основе стеклобоя как  
заполнителей портландцементного бетона** ..... 12

Выявлены условия протекания щелочно-силикатного взаимодействия стеклобоя и пеностекла в сочетании с портландцементом. Найденные зависимости позволили создать надежные бетоны и композиционные материалы.

Г.Г. ВОЛОКИТИН, В.И. КУРЕЦ, Д.В. ШАБАНОВ

**Свойства мелкозернистых бетонов при их затворении суспензиями,  
полученными при электроимпульсном дроблении горных пород** ..... 16

Определено влияние суспензий, полученных при электроимпульсном дроблении гравия: подвижность бетонной смеси возрастает, наблюдается увеличение скорости набора прочности мелкозернистых бетонов и морозостойкости.

Ю.А. БЕЛЕНЦОВ

**Самоуплотняющиеся растворы для кирпичной кладки** ..... 18

Описана технология проектирования состава цементно-песчаного кладочного раствора, учитывающая гранулометрический состав заполнителя. Водоцементное отношение подбирается из условия обеспечения формирования литой смеси.

Ю.М. БАЖЕНОВ, ФАМ ТОАН ДЫК

**Повышение водонепроницаемости бетона в условиях влажного  
жаркого климата** ..... 21

Показано, что модифицирование бетона полифункциональным модификатором, состоящим из С-3, ГКШ-11 и золы рисовой шелухи ЗРШ, позволяет получить высокую прочность и низкую водонепроницаемость в условиях влажного жаркого климата.

М.В. КАФТАЕВА, Ш.М. РАХИМБАЕВ

**Влияние фазового состава портландцементных клинкеров на вяжущие  
свойства цементов в мелкозернистых прессованных бетонах** ..... 22

Приводятся сведения о влиянии различных фаз портландцементных клинкеров  $C_3S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$  на свойства мелкозернистых бетонов с пониженным содержанием воды, изготовленных методом прессования. Разработаны рекомендации по выбору минералогического состава цементов для интенсивных технологий изготовления бетонных изделий.

А.Н. НОСОВ, А.Ю. ХАРЛАМОВ <b>Sika – ведущий производитель строительной химии</b> .....	24
А.Д. ШАРОВ <b>Оригинальная технология производства высокопрочных бетонных изделий</b> .....	26
Представлена новая технология производства изделий архитектурно-ландшафтного назначения по методу вибролитья. Обоснован выбор АБС пластика в качестве материала формы для получения изделий. Представлены свойства получающихся изделий по усовершенствованной рецептуре.	
О.К. БАЗОВЕВ <b>Универсальные добавки нового поколения для получения высокопрочных бетонов</b> .....	27
Представлены многофункциональные добавки Д-5 и Д-11, предназначенные для получения высокопрочных быстротвердеющих бетонов с минимальным расходом цемента. Приведены нормы расхода и области применения бетонов с использованием этих добавок. Добавки не содержат хлора и других компонентов, опасных для цементного камня и арматуры.	
Е.А. МАКИШЕВА <b>Добавки в бетон и строительные растворы компании «Полипласт»</b> .....	28
Описаны свойства комплексных добавок направленного действия, разработанных на основе базового продукта компании суперпластификатора Полипласт СП-1. Приведены новые марки добавок для самоуплотняющихся бетонов, а также добавок для ускорения набора прочности, сохранения подвижности.	
Т.М. ПЕТРОВА, А.Ф. СЕРЕНКО, М.И. МИЛАЧЕВ, Д.М. МИЛАЧЕВ <b>Методы предупреждения ложного схватывания цементов</b> .....	30
Рассмотрены основные причины ложного схватывания цементного теста. Показано, что совместное введение СП-1 и ЛСТ приводит к ложному схватыванию во многих случаях. Описана добавка, введение которой позволяет избежать этого явления.	
С.И. ВЕРЯЕВ <b>О реконструкции бетоносмесительных узлов</b> .....	32
Представлены способы модернизации бетоносмесительных узлов с использованием импортного оборудования и систем управления собственного производства. Разработаны алгоритмы управления, обеспечивающие оптимальную организацию процессов приготовления бетонно-растворных смесей.	
И.А. ИВАНОВ, В.М. ЖМЫХОВ <b>Оценка свойств синтетических пенообразователей для пенобетона</b> .....	33
Оценка свойств пенообразователей рассматривается с точки зрения подбора оптимального продукта для конкретного способа производства пенобетона. С помощью разработанных моделей выявлены преимущества и недостатки пенообразователей для пенобетона.	
<b>Отечественные добавки для самоуплотняющегося бетона на основе поликарбоксилатов ХИДЕТАЛ-ГП-9</b> .....	36
А.Н. БОБРЫШЕВ, Р.В. КОЗОМАЗОВ, Д.В. КОЗОМАЗОВ, В.М. АКСЕНОВ <b>Информационно-вычислительный комплекс «Композит» для подбора составов и прогнозирования свойств композитных материалов</b> .....	38
Представлен ИВК «Композит», включающий базу данных компонентов композитных материалов на основе общей классификации, а также расчетные модули для подбора их составов и прогнозирования свойств. Внедрение ИВК «Композит» позволяет значительно сократить время при подборе состава бетона и его корректировку на строительной площадке.	
И.В. ГЛАЗКОВА, А.А. ПЕТРОВ, С.В. МЯГКОВ <b>Дезактивация бетонных поверхностей хелатирующими реагентами</b> .....	40
Исследовано воздействие водных растворов хелатообразующих соединений на поверхность бетона с целью снижения степени загрязнения. Показано, что происходит вымывание ионов кальция, изменение дзета-потенциала поверхности, изменение массы. Наиболее эффективным признан Трилон Б.	
<b>Сибирская строительная неделя – 2007 (информация)</b> .....	42
<b>Международная конференция «Промышленные минералы и научно-технический прогресс» (информация)</b> .....	46
В.П. ЕРЕМЕНКО <b>Оценка напряжений и разрушений структурных связей в бетоне по акустической эмиссии</b> .....	48
Исследована связь акустической эмиссии и деформирования бетона при одноосном сжатии, показана возможность использования параметров акустической эмиссии для оценки закономерности деформирования. При этом число импульсов отражает разрушение структуры материала и развивающуюся нелинейную деформацию.	
<b>Хризотилвый асбест: проблемы безопасности, перспективы использования (информация)</b> .....	51
Р.А. НАЗИРОВ, Д.А. МИХЕЕВ, Е.В. ПЕРЕСЫПКИН, О.В. СОЛОВЬЕВА <b>Использование программных комплексов для повышения достоверности результатов тепловизионных обследований</b> .....	52
Проведено сравнение тепловизионных обследований зданий и теоретических расчетов, осуществленных на программном комплексе «TEMPER-3D». Показано, что расчетное распределение тепловых полей по внутренним поверхностям наружных ограждений совпадает с результатами натурных измерений ошибка не превышает 4%.	

А.Д. ДИКУН, В.Я. ФИШМАН, В.Н. ДИКУН, И.Н. НАГОРНЯК, Т.Е. ТЮРИНА, А.В. АЛЕКСЕЕВ

**10 лет стандарту ГОСТ 10060.3-95 «Бетоны. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости»** ..... 54

Показано, что экономически целесообразным является метод прогнозирования морозостойкости по величине объемной деформации бетона. Создана серия приборов для определения объемной деформации (ДОД), установлена корреляционная зависимость между морозостойкостью по ГОСТ 10060.1-95 и объемной деформацией при однократном замораживании по ГОСТ 10060.3-95.

В.И. КОЛОМИЕЦ, Л.В. КИМ

**Морозостойкость и абразивная стойкость бетона для ледостойких опор нефтегазопроводных платформ** ..... 57

Разработан стенд для абразивных испытаний бетонных образцов при низкой температуре. Получены составы бетонов с классом В60-В70, износостойкостью не более 0,4 мм/год, морозостойкостью F500, водонепроницаемостью W20. Разработаны основные элементы автоматизированной многофункциональной информационной системы прогнозирования долговечности материалов «АМИС-КДМ».

И.Ю. ЕВСТИФЕЕВА, Е.В. КОРОЛЕВ, Н.И. МАКРИДИН, С.И. ЕГОРОВ

**Предельные состояния структуры серных композитов** ..... 61

Представлены результаты исследования трещиностойкости серных композитов методом акустической эмиссии. Предложен критерий для оценки качества их структуры, коррелирующийся с результатами механических и акустико-эмиссионных испытаний.

В.В. СТРОКОВА, Р.В. ЛЕСОВИК

**Количественный анализ микроструктуры композитов на основе минеральных вяжущих по РЭМ-изображениям** ..... 65

Показано, что анализ микростроения материала по РЭМ-изображениям при использовании планиметрического метода микроструктурных исследований позволяет количественно оценить основные морфометрические показатели, определяющие свойства цементного камня в строительном композите. Методика реализована на примере композитов из тонкомолтых цемента.

А.Н. ПЛУГИН, А.А. ПЛУГИН

**Коллоидно-химические основы прочности и долговечности бетона и конструкций** ..... 68

Теоретической основой для развития представлений о прочности и долговечности бетона послужили положения физико-химической механики дисперсных систем, теории электрогетерогенных взаимодействий при твердении цементных вяжущих, теория долговечности бетона и железобетона. Разработаны новые представления о долговременной ползучести бетона в массивных и длинномерных конструкциях.

Р.Р. САХИБГАРЕЕВ

**Физико-химические аспекты применения модифицированных бетонов** ..... 72

Сформулированы теоретические предпосылки использования синтезированных анионных и неионогенных ПАВ на основе кубовых остатков высших жирных спиртов. Разработаны технологии получения и составы анионных и неионогенных добавок. Обоснован механизм их действия на цементные системы.

А.Б. ЛИПИЛИН, Н.В. КОРЕНЮГИНА, М.В. ВЕКСЛЕР

**Селективная дезинтеграторная активация портландцемента (СДАП)** ..... 74

Показано влияние зернового состава на основные свойства цемента, а также изменение его гранулометрических параметров в зависимости от примененного типа помольного агрегата. Представлен экономически выгодный метод селективной дезинтеграторной активации и перспективы его применения.

**Современные бетоны. Славянский форум в Запорожье (информация)** ..... 77

Н.Р. РАХИМОВА

**Влияние добавок молотого кварцевого песка на кинетику твердения композиционного шлакощелочного вяжущего** ..... 78

Установлено, что прочность камня композиционного шлакощелочного вяжущего при твердении в естественных условиях в первые 3-7 сут ниже на 20%, а после года в 1,45-1,6 раза выше, чем бездобавочного. Образцы камня как композиционного, так и бездобавочного шлакощелочного вяжущего после термообработки набирают прочность менее интенсивно.

П.К. ХАРДАЕВ, Е.В. ГОНЧИКОВА, А.В. УБОНОВ

**Смешанные вяжущие на основе вулканических пород Забайкалья** ..... 80

Приведены результаты экспериментальных исследований свойств разработанного механоактивированного смешанного вяжущего на основе вулканических пород Забайкалья. Для снижения водопотребности и агломерации вяжущего вводился суперпластификатор С-3. На основе разработанного вяжущего были получены бетоны.

Р.Р. ГАЛЕЕВ, И.В. КОЛЕСНИКОВА, Р.К. НИЗАМОВ, Л.А. АБДРАХМАНОВА, В.Г. ХОЗИН

**Применение тонкодисперсных шлаков для производства поливинилхлоридных материалов** ..... 82

Рассмотрена возможность использования шлаков различного происхождения в качестве наполнителей для материалов строительного назначения на основе ПВХ. Изучено модифицирующее действие шлаков в зависимости от их минерального состава, дисперсности. Установлено их оптимальное содержание в композициях с различным количеством пластификаторов.

Н.О. КОПАНИЦА, Д.В. ЛЫЧАГИН, М.А. КАЛАШНИКОВА

**Особенности регулирования эксплуатационных свойств эффективных торфодревесных материалов** . 85

Представлены результаты модифицирования торфодревесных композиций на основе низинного торфа для получения изделий с широким интервалом физико-механических характеристик. Предложен способ модифицирования торфодревесного материала полипропиленовыми волокнами. Показано влияние строения армирующего волокна на свойства композита.

А.Н. ДАВИДЮК, канд. техн. наук, почетный строитель РФ, генеральный директор,  
Е.С. ФИСКИНД, заслуженный строитель РФ, главный инженер, ОАО «КТБ ЖБ» (Москва)

## ОАО «Конструкторско-технологическое бюро бетона и железобетона»: 45 лет в строительном комплексе Москвы и России

Создание Конструкторско-технологического бюро бетона и железобетона в 1962 г. связано с интенсивным развитием строительства из сборного железобетона высокой заводской готовности. Разрабатывались большепролетные конструкции, совершенствовались системы преднапряженного армирования. По всей стране вырастали новые города и районы массовой застройки с домами из сборного железобетона. Страна не на словах, а на деле решала жилищную проблему.

В связи с этим возникла насущная потребность в интенсификации исследований в области бетона и железобетона, формировании современной нормативной базы. В 1956 г. была создана Академия строительства и архитектуры СССР, в состав которой в числе других вошел НИИ бетона и железобетона (НИИЖБ). В этом институте и возникла идея создания организации, способной квалифицированно и оперативно перенести передовые научные разработки в области бетона и железобетона из лабораторий в цеха действующих и строящихся предприятий строительной индустрии, на строительные площадки страны.

Интенсивное развитие науки о бетоне и железобетоне позволило разработать новые растворы и бетоны различного назначения, новые конструкции с повышенной несущей способностью, ограждающие конструкции с высокими теплотехническими параметрами. Разрабатывались новые технологии и оборудование.

Бюро внедрения, переименованное в 1981 г. в Конструкторско-технологическое бюро НИИЖБ, а в 1992 г. — ФГУП «КТБ ЖБ», крепло и развивалось. С целью оперативной связи регионов СССР с разработчиками новой техники и эффективного внедрения новых технологий и конструкций в практику строительства были созданы территориальные подразделения КТБ в Казани, Волгограде, Владимире, Магнитогорске, Челябинске, Тюмени, Иркутске, Кемерово, Владивостоке, Сухуми, Фрунзе, Баку,

Ташкенте, Махачкале и др. регионах страны. Многие специалисты КТБ успешно сочетали научную и внедренческую деятельность, стали ведущими учеными страны в области бетона и железобетона. Среди них В.И. Соломатин, А.И. Звездов, В.В. Жуков, С.С. Каприелов, М.И. Браиловский и многие другие.

Научные сотрудники и специалисты КТБ ЖБ являлись авторами и принимали участие в более чем 200 работ в области бетона и железобетона, внедренных в практику промышленного и гражданского строительства. Среди них:

- сборные железобетонные оболочки, армоцементные конструкции, большепролетные покрытия, висячие конструкции мембранного типа, возведенные в Москве, Московской области; прогрессивные конструкции из легких и ячеистых бетонов с улучшенными прочностными и теплотехническими свойствами для применения в многоэтажном домостроении Республики Чувашии и панели покрытия КЖС на объектах Москвы, Владимира, Волгограда;

- система многокритериальной оптимизации технологии изготовления и монтажа железобетонных и металлических строительных конструкций с использованием сварочных процессов при строительстве крупных тепловых электростанций;

- новые виды специальных бетонов, в том числе химически стойких полимербетонов для производств и условий с сильноагрессивной средой, разработка применения напрягающих цементов НЦ-20, НЦ-40 в монолитных покрытиях спортивных сооружений;

- экологически чистые технологии пропитки железобетонных конструкций на основе водных дисперсий сополимеров с использованием электрофизического способа для антикоррозийной защиты бетона;

- оптимизация изготовления и монтажа строительных металлоконструкций с использованием сварочных



процессов при реконструкции стадиона в Лужниках и Старого Гостиного двора в Москве;

– внедрение ультразвукового контроля качества при строительстве мемориального комплекса на Поклонной горе, храма Христа Спасителя, торгово-рекреационного комплекса на Манежной площади, сооружений третьего транспортного кольца в Москве.

Специалисты КТБ ЖБ являются авторами и соавторами многочисленных нормативных документов различного уровня. Среди них ряд ГОСТов, регламентирующих определение прочности бетонов различными методами (ГОСТ 22690–88, ГОСТ 17624–87, ГОСТ 28570–90, ГОСТ 17539–72); Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений (СП 13-102-2003); Временные нормы и правила. Проектирование многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в Москве (МГСН 4.19–2005 г.) и др.

В трудные годы перестройки широкая география работ КТБ ЖБ сузилась. Коллектив был ориентирован на те направления, которые имели наибольший спрос в основном на строительных объектах Москвы. К ним можно отнести квалифицированный контроль качества строительного-монтажных работ, объектов строительной индустрии, инженерное обследование зданий, сооружений, строительных конструкций; решение сложных вопросов армирования строительных конструкций, в том числе монолитного железобетона, использование вторичных отходов для производства строительных материалов и др.

Последнее десятилетие характеризуется неуклонным укреплением коллектива, совершенствованием испытательной базы, повышением авторитета в строительном комплексе. Созданы новые отделы и центры по направлениям строительного проектирования, инженерно-геодезических изысканий, реконструкции и строительства.

Специалисты КТБ ЖБ принимали участие в строительстве таких знаковых объектов, как РТК на Манежной площади, храма Христа Спасителя, мемориального комплекса на Поклонной горе, делового центра Мосэнерго (Москва), Вилюйской ГЭС (Республика Саха-Якутия), морского терминала г. Венспилса (Латвия) и др.

Постановлением Госстроя России на КТБ ЖБ было возложено выполнение функций головной организации по координации работ в строительстве в области сварки, диагностики и контроля качества сварных соединений арматуры и закладных деталей железобетонных конструкций, а также по переработке отходов и производства на их основе строительных материалов и изделий.

Технологи и конструкторы КТБ ЖБ совместно с НПО «Союз» в рамках выполнения федерального госконтракта разработали и успешно реализовали технологические решения по утилизации отходов оборонной промышленности в закладочных бетонах. До конца

2007 г. будет запущена линия по утилизации мощностью до 20 тыс. м<sup>3</sup> бетона в год.

В настоящее время КТБ ЖБ имеет государственную аккредитацию Миннауки РФ в качестве научной организации, комплект лицензий на осуществление многоплановой строительной деятельности, аттестат аккредитации испытательной лаборатории в системе Мосстройсертификации для проведения работ по сертификации широкой номенклатуры строительной продукции и услуг; является органом по сертификации.

Ученые и специалисты КТБ ЖБ являются одними из инициаторов внедрения системы научно-технического сопровождения строительства, в том числе высотного большепролетного и уникального, в его рамках осуществляется: мониторинг несущих и ограждающих конструкций, геомониторинг, в том числе окружающей застройки; контроль качества, включая разработку технологической и производственной документации; входной, пооперационный и приемочный контроль качества арматурно-сварочных работ, анализ конструктивных решений, расчеты напряженно-деформированного состояния зданий; разработка рекомендаций по назначению оптимальных составов бетонных смесей; контроль прочности бетонов, растворов и каменной кладки разрушающими и неразрушающими методами; выявление дефектов и создание решений по их устранению. Система научно-технического сопровождения успешно опробована на таких известных объектах Москвы, как высотные жилые комплексы «Триумф-Палас», «Эдельвейс», «Воробьевы горы»; объекты делового центра Москва-сити, здание Большого театра, гостиницы «Москва» и др.

В ОАО «КТБ ЖБ» проводится комплекс стандартных испытаний строительных материалов, в том числе сертификационных. Лаборатории и отделы оснащены современным оборудованием для проведения инженерно-геодезических изысканий, испытаний практически всей номенклатуры железобетонных изделий; приборами неразрушающих методов контроля качества; установками для испытаний тепло- и гидротехнических свойств бетона.

Организация проводит комплекс работ по инженерному обследованию зданий и сооружений различного назначения; строительных конструкций и их элементов – эксплуатируемых, строящихся, реконструируемых и поврежденных внешними воздействиями. Разрабатываются рекомендации по ремонту, восстановлению и усилению конструкций.

Комплексный подход к реконструкции зданий и новому строительству позволяет решать вопросы инженерных изысканий, технического обследования, проектирования выполнения СМР и сдачи объекта в рамках одной организации – ОАО «КТБ ЖБ», что является несомненным удобством для заказчика.



45 лет в стройкомплексе Москвы и России

**Открытое акционерное общество  
со 100-процентным государственным капиталом  
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ БЮРО  
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА (ОАО «КТБ ЖБ»)**

Является одной из ведущих организаций Росстроя  
Имеет филиалы в гг. Владимире и Волгограде

Основные направления деятельности: научно-техническое сопровождение строительства и мониторинг; проектирование и конструирование; разработка технологических процессов и способов повышения качества строительства; обследование технического состояния зданий и сооружений, техническая экспертиза; инженерно-геологические изыскания; научная деятельность, разработка нормативно-технической документации; сертификация; комплексная реконструкция и ремонт.

Адрес: 109428, Москва, 2-я Институтская, д. 6, тел.: (495) 171-09-01, тел./факс: (495) 171-64-10, 170-00-65 (отдел маркетинга)  
E-mail: ktb@ktbbeton.ru www.ktbbeton.ru

## Легкие бетоны на стеклогранулятах

Высокая потребность в эффективных строительных материалах для массового строительства крупнопанельных и монолитных жилых, общественных и промышленных зданий диктует необходимость решения ряда научно-технических проблем. Среди них важное место занимает улучшение прочностных и теплозащитных характеристик ограждающих бетонных конструкций.

В последние годы разработаны эффективные заполнители с аморфизированной структурой – стеклогрануляты (СГ), такие как вспученный туфоаргиллитовый гравий (ВТГ), пеностеклогрануляты из отходов перлитового сырья (ПГС), вспученный витрозитовый гравий (ВВГ) и др., применение которых открывает большие возможности для создания легких бетонов.

Технология производства перечисленных заполнителей имеет свои особенности для каждого вида, в общем она заключается в расплавлении исходного минерального сырья, вспучивании и быстром охлаждении в течение 30–60 минут. Большое содержание стеклофазы и равномерное распределение мелких пор правильной формы обеспечивает СГ повышенную прочность и пониженную теплопроводность.

Химический состав и их физико-механические свойства СГ приведены в табл. 1, 2.

Результаты исследований легкого бетона на СГ показали, что при одинаковом расходе цемента и объеме содержания заполнителя соотношение между прочностью конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона на СГ и его плотностью (коэффициент конструктивного качества) на 20–30% выше, чем у керамзитобетона (рис. 1).

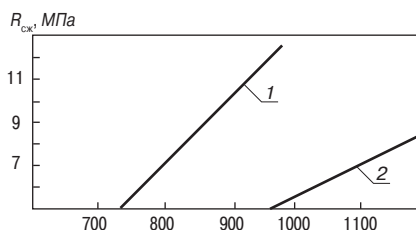


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ) от плотности легких бетонов.

1 – легкий бетон на СГ для стеновых панелей, блоков и камней (образцы изготовлены из заводских составов в Москве и г. Норильске); 2 – легкий бетон для стеновых блоков и панелей (в среднем по стране).

С целью наиболее эффективно использования высоких прочностных свойств СГ-заполнителя целесообразно введение в бетонную смесь порообразующих добавок. Однако воздухововлечение более 10–12% приводит к снижению прочности бетона [1]. Для повышения прочности бетона после термообработки и сокращения сроков набора отпускной прочности в бетонную смесь вводится тонкодисперсный сорбент (СНВ) состава  $kSiO_2 \cdot mAl_2O_3 \cdot nR_2O$ , где  $k=6,5-9,5$ ,  $m=0,2-1,3$ ,  $n=1,5-2,5$  в количестве 30 л/м³, который, являясь одновременно мелким заполнителем, селективно сорбирует высокомолекулярные соединения. Сорбенты, введенные на последней стадии перемешивания бетонной смеси, нейтрализуют

отрицательное влияние добавок после выполнения ими функционального назначения (рис. 2) [2].

Результаты электрохимических исследований показали, что коррозии стали в легком бетоне на СГ не наблюдается. Арматурные стержни, извлеченные из бетонных образцов, хранившихся в течение одного года в натуральных условиях, также не имели признаков коррозионных поражений.

Анализ кинетики связывания оксида кальция и обработка данных в соответствии с уравнением Дроздова:

$$K = \frac{1}{t} \ln \frac{c_0}{c_A} - \frac{bc_x}{t},$$

где  $c_0$  – исходное количество CaO (100%);  $c_A$  – количество CaO через  $t$  (сут);  $c_x$  – количество связанного CaO к моменту  $t$ ;  $K$  – константа ско-

Таблица 1

Сырьевой материал	Массовые доли основных компонентов, %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ППП
Туфоаргиллит	63,73	19,3	9,2	1,77	3,9	0,15	0,14	1,6	0,21
Перлитовые отходы	73,58	8,32	1,67	4,89	3,54	0,25	4,44	2,63	0,39

Таблица 2

Усредненные свойства стеклогранулятов	Фракция 10–20 мм		Фракция 5–10 мм		
	Насыпная плотность, кг/м³				
	250	300	350	400	450
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	0,8	1,2	1,8	2	2,8
Плотность, кг/м³	2,6	2,56	2,34	3,36	3,36
Водопоглощение, мас. %	18	14	12	10	8
Коэффициент размягчения	–	–	–	0,8	0,8
Межзерновая пустотность, %	39	38	40	45	48
Морозостойкость, циклов, не менее	50	50	50	50	50
Марочная прочность в бетоне	–	П50	П75	П100	П150
Стойкость против силикатного распада, %	–	95	100	100	100
Стойкость против железистого распада, %	–	95	100	100	100

Таблица 3

Наименование характеристик	Класс бетона по прочности при сжатии		
	B3,5	B5,0	B7,5
Кубиковая прочность при сжатии, МПа	5,1	6,8	10,8
Призменная прочность, МПа	4,6	6,4	12,1
Средняя плотность, кг/м³	810	976	1228
Отношение призменной прочности к кубиковой	0,89	0,94	1,12
Модуль упругости	4946	6566	10240
Коэффициент Пуассона	0,18	0,2	0,21

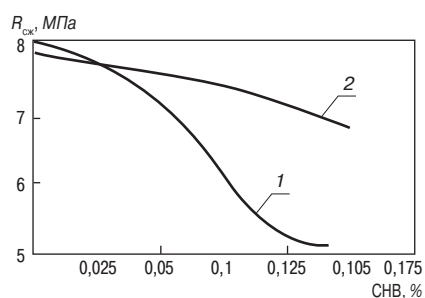


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии после ТВО плотного легкого бетона на СГ от содержания СНВ. 1 – без сорбента, 2 – в присутствии сорбента

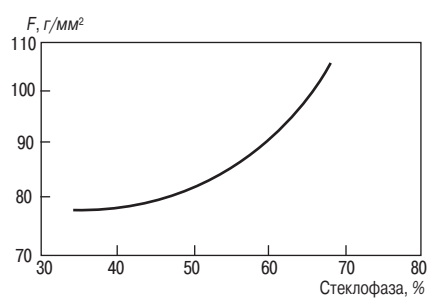


Рис. 3. Зависимость прочности сцепления СГ с цементной матрицей от структуры гравия

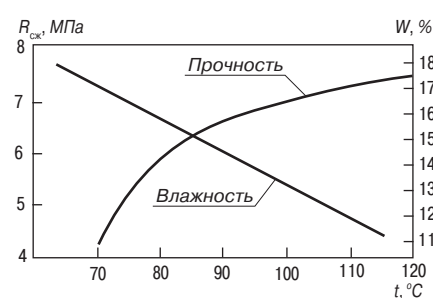


Рис. 4. Зависимость прочности и влажности легкого бетона на СГ от температуры изотермической выдержки ТВО (плотность в сухом состоянии 876 кг/м<sup>3</sup>, расход дробленого песка из СГ 350 кг)

рости реакции;  $b$  – эмпирический коэффициент, – показал, что гидравлическая активность мелкого заполнителя из СГ возрастает в 2–2,5 раза с уменьшением модуля крупности от 2,5 до 1,8, а увеличение температуры гидротермальной обработки до 90°C приводит к повышению скорости реакции примерно в 5 раз. Для ингибирования процесса коррозии металла в бетоне необходимо повысить минимальное содержание цемента для конструктивно-теплоизоляционных бетонов до 260 кг/м<sup>3</sup>, а содержание мелкого заполнителя ограничить объемом 250 л/м<sup>3</sup>. Остальную часть мелкозерновой пустотности, по нашему мнению, следует заполнить вовлеченным воздухом или пенополистиролом фракции 2–5 мм.

Методами электронной микроскопии и РФА были проведены комплексные исследования свойств СГ и структуры легкого бетона на СГ. Установлено что СГ содержит до 91–97% стеклофазы и небольшую часть кристаллической фазы в виде кварца. Кроме этого присутствуют кристаллические примеси лабрадора, адуляра и т. п.

На основании результатов анализа рентгенограмм можно сделать вывод о том, что на границах раздела цемент–заполнитель в период гидратации цемента происходит образование гидратных фаз вида  $Al_2H_2(SO)_4 \times 24H_2O$ ;  $AlO(OH)$ ;  $2CaO \cdot MgO_2 \cdot SiO_2 \times 8H_2O$ ;  $MgCO_3 \cdot 5H_2O$ ;  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \times 4H_2O$  и т. д.

Образование гидроалюмосиликатов и гидросиликатов в составах с дробленным песком из СГ в присутствии цемента указывает на его повышенную гидравлическую активность.

Рентгено-структурный анализ показал, что контактная зона СГ с цементным камнем в малопоризованном бетоне слоистая и не имеет видимых дефектов. В поризованном бетоне с объемом вовлечения воздуха более 10% зона контакта нарушена. Воздухововлекающие добавки адсорбируются на поверхности заполнителя в виде воздушных пу-

зырьков, разрыхляют контактную зону, снижая прочность бетона.

Исследовалась зависимость прочности легкого бетона на СГ от содержания стеклофазы в шихте заполнителя. Установлено, что с увеличением содержания стеклофазы в крупном заполнителе прочность легкого бетона на СГ возрастает по параболической зависимости. Это объясняется тем, что прочность заполнителя равной средней плотности наряду с другими факторами определяется содержанием в нем стеклофазы.

Для исследования зависимости прочности сцепления СГ с цементной матрицей от шероховатости поверхности заполнителя и содержания стеклофазы была разработана специальная методика, позволяющая отрывать зерна СГ с различными значениями шероховатости поверхности (при содержания стеклофазы от 20 до 70%) от цементной матрицы. По результатам выполненных исследований необходимо отметить, что прочность сцепления заполнителя с цементным камнем возрастает по квадратичной зависимости с увеличением стеклофазы в заполнителе (рис. 3).

Исследовано влияние температуры изотермической выдержки при термообработке бетона по режиму 2+6+3 ч и условий хранения образцов-кубов. Установлено, что при повышении температуры изотермической выдержки прочность легкого бетона на СГ увеличивается, а влажность линейно уменьшается (рис. 4). Этот эффект обусловлен высоким содержанием активного кремнезема и глинозема в заполнителях, способствующих проявлению их химической активности по отношению к гидроксиду кальция.

Характеристики легкого бетона на СГ приведены в табл. 3.

Оценивая опытные данные и сравнивая их с аналогичными характеристиками СНиП 2.03.01–84 для легких бетонов, можно отметить, что модуль упругости легкого бетона на СГ на 14% выше нормативного значения для бетонов прочностью

5 и 10 МПа, что позволяет при расчетах пользоваться данными СНиП 2.03.01–84 для легких бетонов соответствующих классов. Коэффициент Пуассона легкого бетона на СГ представленных классов соответствует нормативной величине.

Значения начального модуля упругости при осевом растяжении легкого бетона на СГ выше, чем при сжатии, на 14–25%. Усадка и ползучесть легкого бетона на СГ близки по своим значениям к аналогичным характеристикам керамзитобетона соответствующих прочностей.

Изучение теплофизических свойств СГ показало, что теплопроводность легкого бетона на СГ средней плотностью 800–1000 кг/м<sup>3</sup> в целом соответствует значениям СНиП 23–02–2003 для керамзитобетона на пористом песке. Однако при условиях эксплуатации «Б» она составляет 0,27–0,33 Вт/(м·°C), что на 15% ниже, чем у керамзитобетона. Среднее значение приращения теплопроводности на 1% влажности составляет 0,0078 Вт/(м·°C), что примерно на 0,0012 Вт/(м·°C) меньше значений для керамзитобетона.

Исследованы вопросы долговечности. Показано, что легкий бетон на СГ классов по прочности В 3,5; В 5,0; В 7,5 (М50, М75, М100) в условиях работы наружных стен при относительной влажности внутреннего воздуха 57% соответствует марке по морозостойкости F75; F100; F150 соответственно и может найти применение в наружных стеновых конструкциях для зданий I, II, III классов по степени ответственности практически для всех регионов страны, включая районы Крайнего Севера.

#### Список литературы:

1. Давидюк А.Н., Забродин И.В. Легкие бетоны на стекловидных заполнителях. // В кн. Материалы XXIV международной конференции по бетону и железобетону. М. 1992 г.
2. Способ изготовления изделий из легкогобетонной смеси. А.с. № 1645265 СССР // 1991. Б.И. №16.

Е.С. ФИСКИНД, заслуженный строитель РФ, главный инженер ОАО «КТБ ЖБ»;  
Т.А. УХОВА, канд. техн. наук, НИИЖБ (Москва)

## Автоклавный ячеистый бетон – экономичный и эффективный материал для строительства любой этажности

В процессе реализации национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» потребуется значительный рост производства строительных материалов.

Особенно остро стоит вопрос организации выпуска эффективных материалов для наружных ограждающих конструкций, объем которых составляет 45–60% от всего объема строительных конструкций здания. При этом следует иметь в виду, что по сравнению с требованиями к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций, предписанными нормативами двадцатилетней давности, современные требования выросли более чем в 2,5 раза. В этой связи развитие производства и применение ячеистых бетонов весьма актуально.

В настоящее время ячеистые бетоны в России переживают второе рождение. Вошли в строй и строятся современные заводы по производству изделий из автоклавного ячеистого бетона общей производительностью свыше 3,5 млн м<sup>3</sup>/год, которые оснащены современным, в основном импортным, оборудованием, применяют передовые технологии, обеспечивающие возможность выпуска продукции с высокими физико-техническими свойствами.

Такие изделия из ячеистого бетона автоклавного твердения выпускают более 15 предприятий: ОАО «ЛЗИД» и ОАО «НЛМК» (Липецк), ООО «АЭРОК СПб» (Санкт-Петербург), ФГУП «211 КЖБИ» (п. Сертолово Ленинградской обл.), ОАО «Коттедж» (Самарская обл.), ООО «Рефтинское объединение «Теплит» (Свердловская обл.), завод «СИБИТ» ОАО «Главновосибирскстрой» (Новосибирск), ООО «ЭКО» (Ярославль), ООО «Воскресенский газосиликатный комбинат» и др.

В ближайшем будущем войдут в строй современные заводы по производству изделий из автоклавного ячеистого бетона в г. Можайске и Электростали Московской области, Казани, Омске и других городах страны.

Физико-механические свойства ячеистого бетона марок по средней плотности D350, D400, D500, D600, D700 и изделий из них, выпущенных серийно на передовых предприятиях страны, были испытаны на соответствие требованиям действующих российских стандартов

аккредитованными лабораториями сертификационного центра Госстроя РФ, сертификационного центра качества материалов в Санкт-Петербурге, а также сертификационного центра в Екатеринбурге (см. таблицу).

Анализ результатов испытаний бетонов и изделий из них позволил сделать следующие выводы.

1. Прочностные показатели значительно превышают требования ГОСТ 21520–89, ГОСТ 25485–89 и ГОСТ 5742–76. При этом для марок по средней плотности D400 и D500 они удовлетворяют требованиям действующих стандартов, предъявляемым к бетонам марок по средней плотности D600 и D700.
2. Морозостойкость испытанных бетонов значительно выше нормативных значений ГОСТ 25485–89 для бетонов марок по средней плотности D400 и D500.
3. Определенные в процессе исследований низкие значения коэффициентов однородности бетонов по средней плотности (1–3%) и прочности (7–8%) подтвердили надежность применяемого на этих заводах технологического оборудования и стабильность процессов изготовления бетонов и качества изделий из них.
4. Точность геометрических параметров изделий составила  $\pm 1–1,5$  мм.

Действующие нормативные документы, учитывающие устаревшие показатели, не позволяют проектным организациям применять современные ячеистые бетоны при возведении ограждающих конструкций, в том числе однослойных стен приемлемой толщины (менее 500 мм). Тем самым ограничивается сфера их применения, искусственно занижается конкурентоспособность по сравнению с другими стеновыми материалами.

На основании отечественных и зарубежных опытных данных целесообразно принять значения равновесной влажности для условий эксплуатации А и Б, соответственно 4 и 5% в отечественных нормативных документах [1].

Применение указанных значений влажности и соответствующих им расчетных коэффициентов теплопроводности было разрешено ряду передовых предприятий страны, выпускающих изделия из автоклавного ячеистого бетона, которые успешно применяют их более 5 лет.

Наименование предприятия (фирма – производитель оборудования)	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м·°С)	Морозостойкость, циклов
ОАО «Липецкий завод домостроения» (Хебель)	400–500	2–3,5	0,1–1,12	25–35
	600–700	4–5	0,14–0,17	35–40
ФГУП «211 КЖБИ», Ленинградская обл. (Хебель)	400–500	2,5–3,5	0,1–0,12	25–35
ООО «Рефтинское объединение «Теплит» (Верхан)	400–500	2,5–4,8	0,09–0,115	35–75
ОАО «Аэрок СПб» (Верхан)	350	2,5	0,093	25
	400	3,5	0,1	35
	500	4,5	0,12	35



ЦНИИЭП жилища совместно с НИИСФ провели исследования по определению экономически целесообразного значения сопротивления теплопередаче наружных стен разной конструкции, в том числе трехслойных панелей с гибкими связями, слоистых и утепленных снаружи кирпичных стен и стен из ячеистого бетона. В качестве экономической эффективности были приняты приведенные затраты. Установлено, что для ячеисто-бетонных наружных стен экономически целесообразное сопротивление теплопередаче по сравнению с другими конструкциями является минимальным.

Учитывая высокие прочностные и теплоизоляционные свойства автоклавного ячеистого бетона, а также его высокую огнестойкость, представляется весьма рациональным в проектах высотных зданий предусмотреть всемерное использование ячеистых бетонов.

С применением несущих каркасов из высокопрочных материалов ограждение наружных стен с успехом может быть выполнено из мелких стеновых ячеисто-бетонных блоков по ГОСТ 21520–89 с соблюдением требований СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий».

Следует напомнить, что в соответствии со СНиП 11-22–81 «Каменные и армокаменные конструкции» (включая изменения БСТ 12–85) мелкие блоки из ячеистого бетона по предельным состояниям первой и второй групп допустимо применять для заполнения каркасов или несущих стен для любой этажности зданий.

В настоящее время при высокой точности геометрических размеров блоков возможна кладка на клей, что предпочтительнее. В случае поставки блоков 2-й и 3-й категорий точности (отклонение по высоте  $\pm 3$  и  $\pm 5$  мм, по длине и толщине  $\pm 5$  и  $\pm 6$  мм соответственно) допустима кладка на кладочном растворе с применением нормативного легкого песка, который следует применять для исключения мостиков холода.

В настоящее время на высотных зданиях применяют различные системы защитно-отделочных покрытий на основе (навесные вентилируемые фасады). Эти системы очень эффективны в сочетании с конструктивным исполнением наружных стен из ячеистого бетона, так как способствуют интенсивному удалению излишней влаги из конструкций. В таком исполнении не имеет существенного значения опускная влажность материала стен, регламентируемая в обычных конструкциях и учитываемая в теплотехнических расчетах. Кроме того, в этих условиях может быть обеспечена равновесная усредненная влажность материала по всей толщине конструкции. Исследования показали, что в таких условиях сопротивление теплопередаче  $R_0$  может быть менее требуемого сопротивления теплопередаче  $R_{0тр}$  в пределах 5%.

На современном этапе высотного строительства применение ячеистых бетонов экономически обосновано и не имеет разумной альтернативы при сравнении с другими вариантами ограждения.

Многочисленные экспериментальные исследования огнестойкости конструкций из ячеистого бетона, про-

веденные за рубежом, в СССР и позднее в Российской Федерации и Республике Беларусь, показали, что ячеистый бетон обладает высокими теплоизолирующими качествами в условиях пожара.

Высокая огнестойкость ячеистого бетона делает этот материал незаменимым также при реконструкции жилых домов, в том числе путем надстройки этажей, создает возможность применения кладки из ячеисто-бетонных блоков для устройства противопожарных стен в виде преград 1-го класса – противопожарных стен в зданиях любой огнестойкости.

В результате обобщения опыта производства и применения ячеистых бетонов автоклавного твердения в новые ГОСТы включены следующие основные положения [2]:

1. В зависимости от назначения значительно снижены нормативные марки бетонов по средней плотности (на 2–3 марки) при обеспечении заданной прочности и морозостойкости, что будет способствовать повышению теплозащитных свойств.
2. Уточнены коэффициенты теплопроводности ячеистых бетонов по средней плотности и расчетные коэффициенты теплопроводности в высушенном состоянии.
3. Снижены нормативные показатели усадочных деформаций при высыхании до 4 мм/м ячеистых бетонов на песке для бетонов марок по средней плотности D500 и выше.
4. Внесен новый пункт, регламентирующий информацию о негорючести ячеистых бетонов автоклавного твердения.
5. Введено требование о послеавтоклавной влажности ячеистых бетонов, которая не должна быть более 35%. Соблюдение требований нового стандарта при производстве и применении ячеистого бетона в строительстве позволит:
  - расширить область применения ячеистого бетона марок по средней плотности D400–D500, в том числе для возведения однослойных стен толщиной 40–45 см, удовлетворяющих современным требованиям по теплозащите;
  - снизить стоимость строительно-монтажных работ;
  - снизить эксплуатационные затраты на содержание зданий на 35–30%;
  - улучшить комфортность жилых домов;
  - повысить огнезащитные свойства конструкций зданий.

#### Список литературы

1. Семченков А.С., Ухова Т.А., Сахаров Г.П. О корректировке равновесной влажности и теплопроводности ячеистого бетона (поз. 198–205 Приложения «Д» / СП-23-101–2004 «Проектирование тепловой защиты») // Строит. материалы. 2006. № 6. С. 4–7.
2. Ухова Т.А., Паплавский Я.М., Гринфельд Г.И., Вишневецкий А.А. Разработка межгосударственных стандартов взамен ГОСТ 21520–89 и ГОСТ 25485–89 в части ячеистых бетонов автоклавного твердения // Строит. материалы. 2007. № 4. С. 10–12.

## специальная литература

### Дайджесты:

«Ячеистые бетоны – производство и применение». Часть 1. (только на CD) Содержит около 50 статей, опубликованных в журнале «Строительные материалы»® в 1997–2001 гг.

«Ячеистые бетоны – производство и применение». Часть 2. Содержит около 70 статей, опубликованных в журнале «Строительные материалы»® за 2002–2005 гг.

«Современные бетоны – наука и практика».

Содержит более 100 статей, опубликованных в журнале «Строительные материалы»® за 1998–2005 гг.

По вопросам приобретения обращайтесь в редакцию журнала «Строительные материалы»®.

Телефон: (926) 833-48-13, телефон/факс: (495) 124-32-96, 124-09-00 E-mail: mail@rifsm.ru



В.Г. САТЬЯНОВ, генеральный директор, И.Б. ЧУГАЙ, прораб,  
Л.Г. ЛИПАТОВА, главный технолог ЗАО «Инжремтехстрой»;  
Г.С. КАРДУМЯН, канд. техн. наук, ООО «Предприятие «Мастер Бетон» (Москва)

## Новые технологии и материалы для капитального ремонта дымовых труб ТЭЦ

В 2005 г. ЗАО «Инжремтехстрой» выполняло работы по возведению монолитной футеровки дымовой трубы высотой 150 м на Владимирской ТЭЦ. Проектом реконструкции трубы предусматривалась двухслойная конструкция, состоящая из существующей несущей железобетонной оболочки и расположенной вплотную к ней футеровки из керамзитобетона. Между железобетонной оболочкой и футеровкой устанавливалась разделительная диафрагма, выполненная из рубитекса и металлической проволочной сетки класса ВР-1 с ячейками 10×10 см. С целью обеспечения водонепроницаемости на внутреннюю поверхность монолитной футеровки наносился пропиточный и кольматирующий материал марки ГЭКОС, который обеспечивает строительным конструкциям гидрофобность, коррозионную стойкость к кислотным агрессивным средам. Перед устройством монолитной футеровки внутреннюю поверхность несущего ствола промывали водой под давлением, затем производили заделку всех трещин и каверн специальным безусадочным ремонтным составом Консолит Барс 113.

Монолитная футеровка из керамзитобетона одновременно защищает несущий железобетонный ствол от коррозионного воздействия дымовых газов и высокой температуры. Кроме того, возведение монолитной футеровки позволяет сократить трудозатраты и сроки возведения.

Ранее для возведения монолитной футеровки в дымовых трубах использовали полимерцементный бетон с добавкой ацетонформальдегидной смолы АЦФ-3 на пористых заполнителях, который имел прочность 20 МПа, водонепроницаемость W8, среднюю плотность 1600 кг/м<sup>3</sup> и коэффициент теплопроводности 0,52 Вт/(м·°С). В настоящее время выпуск ацетонформальдегидной смолы прекращен, поэтому стояла задача подбора состава бетонной смеси, обеспечивающей после твердения среднюю плотность затвердевшего бетона 1500–1600 кг/м<sup>3</sup>, класс прочности при сжатии не ниже В10, водонепроницаемость

W6; коэффициент теплопроводности 0,5–0,6 Вт/(м·°С). Подбор состава бетонной смеси производили исходя из обеспечения подвижности не ниже П4 (ОК=16–20 см) и прочности в возрасте 1 сут не менее 1,5 МПа на материалах завода изготовителя ЗАО ПТК «Владспецстрой».

В качестве вяжущего использовали портландцементы М400Д0 Воскресенского и Михайловского заводов с содержанием С<sub>3</sub>А не более 7%; песок кварцевый с М<sub>кр</sub>=2,2–2,4 Хромцовского карьера Ивановской обл.; керамзитовый гравий костромского завода «Эксперимент» фракции 10–20 мм с водопоглощением 20–22%, насыпной плотностью 450–500 кг/м<sup>3</sup>; частично был использован гравий рязанского завода фракции 10–20 мм, насыпной плотностью 240 кг/м<sup>3</sup> и водопоглощением 29,2–33,1%.

На стадии подбора состава бетона для обеспечения водо- и газонепроницаемости монолитной футеровки использовали расширяющую добавку РД для получения бетона с компенсированной усадкой, обеспечивающей водонепроницаемость; гидроизолирующий материал проникающего действия Акватрон-6, обеспечивающий непроницаемость для воды, растворов кислот, щелочей, солевых растворов; модификатор бетона Эмбэлит полифункционального действия, включающий расширяющий компонент и суперпластификатор С-3. Введение такой комплексной добавки в цементные бетоны и растворы обеспечивает пластифицирующее, стабилизирующее и водоудерживающее действие на бетонные смеси; улучшение реологии и стабильности консистенции бетонных смесей во времени; снижение проницаемости бетона; повышение коррозионной стойкости; компенсацию усадки.

По результатам проведенных работ была выбрана бетонная смесь с комплексным модификатором Эмбэлит 8-100 следующего состава в кг: портландцемент М400Д0 – 430; песок кварцевый – 590; керамзит плотностью

Таблица 1

Возраст, сут	Число месяца														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	10,3	11,3	10,4	10,6						11,2	11			12	11,4
	11,5				10,7	10,1	10,7	11	10,4			8,7	10	9,2	11,9
	9,6		10,1	10,3	10,3	10,2	12,4								
28	16	17,3	16,9	15,2	16,3	16		15,8	16,4	16,7	15,7	15,4	15,5	16,9	14,9
	16,9	17,2	16,3		16,8	16	16,2	15,8	17	16,4		16,1	11,6	16	
Возраст, сут	Число месяца														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	13,4		11,5	8,2		7,8	10,3			11,2	9,9	10,4	10,6	10,6	
	10,7	13,8	10,1				10,2	11,7	11	11,7			10,5	10,9	10,8
	10,9	11,6		7,6	10,6	10,1	8,8	11	9,8		8	10,9	9,3	7	9,6
28	17,7		16,6	14,4		17,8	13,5	18,5		18	15,4	15,7	18,5	16	16,3
	16	15,2	16,3	16,8	16,9		15,8	17,1	16	15,5	17	17		16,8	16,7

Таблица 2

Дата изготовления	Дата испытания	Масса, г	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	Фактический класс бетона
Керамзитобетон монолитной футеровки					
21.09.2005	11.10.2006	1762	1598	21,6	B15
21.09.2005	11.10.2006	1710	1581	20,5	B15
23.09.2005	11.10.2006	1710	1596	14,7	B10
23.09.2005	11.10.2006	1725	1626	23,4	B15
30.09.2005	11.10.2006	1700	1579	18,1	B15
30.09.2005	11.10.2006	1690	1601	15	B15
Тяжелый бетон обоймы					
26.09.2005	11.10.2006	2445	2373	54,5	B40
26.09.2005	11.10.2006	2510	2365	60,4	B45
23.09.2005	11.10.2006	2515	2359	66,4	B50
23.09.2005	11.10.2006	2525	2369	68,9	B50
14.10.2005	11.10.2006	2510	2278	54,4	B40
14.10.2005	11.10.2006	2515	2348	46,9	B40

240 кг/м<sup>3</sup> – 190; керамзит плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> – 350; модификатор бетона – 50; вода – 160. При этом обеспечивалась осадка конуса 21–22 см, прочность бетона в возрасте 1 сут не менее 10 МПа. Высокая прочность бетона в ранние сроки позволила производить ежедневную перестановку опалубки.

Возведение монолитной футеровки (630 м<sup>3</sup>) толщиной 170 мм, одинаковой по всей высоте, было начато 14.07.2005 г. и закончено 07.10.2005 г.

Бетонную смесь готовили на бетонном узле в ЗАО ПТК «Владспецстрой». Время в пути составляло 25–35 мин. Бетонную смесь выгружали в приемный бункер объемом 3 м<sup>3</sup>, расположенный у трубы. Из приемного бункера через оборудованную течь бетонная смесь порциями по 0,25 м<sup>3</sup> переливалась в специальную бадью, которая по направляющим поднималась на перекрытие трубы, где ее снова переливали в другую бадью для подъема к месту укладки на заданную отметку (рис. 1).

Бетонную смесь футеровки укладывали в опалубку горизонтальными слоями толщиной 250–300 мм равномерно по всему периметру трубы. Время укладки футеровочного слоя в секцию высотой 2,5 м составляло 8–10 ч. Работы по возведению футеровки производили в три смены. Бетонирование осуществляли в дневное время, а в период с 20<sup>00</sup> до 8<sup>00</sup> производили перестановку опалубки с одновременной обработкой швов бетонирования и подъемом подвесной рабочей площадки. Такие высокие темпы бетонирования оказались возможными



Рис. 1. Внешний вид трубы при проведении ремонтных работ

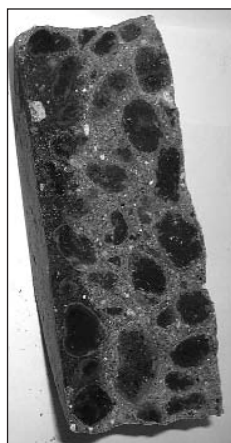


Рис. 2. Образец керамзитобетона после испытания

Таблица 3

Параметры образца керна (d=9,3 см)			Плотность, кг/м <sup>3</sup>	F <sub>разр</sub> , Н	Прочность при сжатии, МПа		Фактический класс бетона
Масса, г	h, см	h/d			измеренная	приведенная к базовому образцу	
Керамзитобетон монолитной футеровки							
1170	8,7	0,94	1980	2000	29,5	28,3	B20
994	8,2	0,88	1780	1560	23	22,1	B15
1030	8,2	0,88	1850	1765	26	25	B15
Тяжелый бетон обоймы							
1402	8,5	0,91	2430	2090	30,8	29,6	B22,5
1604	10,1	1,09	2340	1530	22,5	23,4	B15
1866	10,6	1,14	2590	2120	31,2	32,45	B25
1522	8,7	0,94	2580	3560	52,4	50,3	B35
1762	10,3	1,11	2520	3360	49,5	51,5	B40

за счет продуманной организации производства работ по приемке, подаче и укладке бетонной смеси в опалубку, а также за счет технологических свойств бетонной смеси и высоких прочностных показателей бетона в ранние сроки твердения.

В процессе бетонирования монолитной футеровки на производственной площадке производился тщательный контроль качества поставляемой бетонной смеси по плотности и подвижности. Из каждой машины отбирали пробы бетонной смеси и изготавливали контрольные образцы-кубы 10×10×10 см, которые твердели в условиях, аналогичных условиям возводимой монолитной футеровки. Средние значения прочностных показателей контрольных образцов представлены в табл. 1. Испытания керамзитобетона на водонепроницаемость проводили по ГОСТ 12730.5–84 в лаборатории коррозии НИИЖБ на образцах-цилиндрах диаметром 150 мм высотой 50 и 150 мм. Образцы имели водонепроницаемость W16 (рис. 2). Коэффициент теплопроводности керамзитобетона по ГОСТ 7076–99 составил 0,46 Вт/(м·°C) при плотности 1549 кг/м<sup>3</sup>.

Обследование внутренней поверхности монолитной футеровки производили 1.08.2006 г. с целью выявления возможных дефектов и разрушений, образовавшихся за зимний период эксплуатации трубы, который проходил в непроектном режиме. Прочностные характеристики монолитной футеровки определяли неразрушающим методом с использованием электронного склерометра ИПС МГ-4, испытанием кернов бетона, выбуренных из футеровки на всю толщину, и образцов-кубов 10×10×10 см, изготовленных в период бетонирования. Результаты обследования показали, что монолитная футеровка после девяти месяцев эксплуатации находится в хорошем состоянии, сколов, усадочных и температурных трещин не обнаружено, при этом прочность бетона возросла и стала соответствовать классу B30. Результаты физико-механических испытаний контрольных образцов и кернов, вырубленных на отметке 107,5–108 м, представлены в табл. 2 и 3. По данным испытаний кернов, прочность бетона монолитной футеровки соответствует классу B15–B20, а контрольных образцов – классу B15.

Результаты обследования и данные физико-механических испытаний контрольных образцов и кернов свидетельствуют о том, что керамзитобетон монолитной футеровки по своим показателям отвечает требованиям проекта и способен обеспечить надежную защиту несущего ствола трубы в режиме эксплуатации.

С.И. ПУЗАНОВ, инженер, ЗАО «Пермское производство пеносиликатов»

## Особенности использования материалов на основе стеклобоя как заполнителей портландцементного бетона

Увеличение объемов производства бетона и железобетона невозможно без увеличения количества заполнителей. При среднегодовом объеме производства бетона и железобетона более 60 млн м<sup>3</sup> (в том числе более 20 млн м<sup>3</sup> сборного и более 40 млн м<sup>3</sup> товарного) и строительных растворов 20–25 млн м<sup>3</sup> потребность в заполнителях составляет более 50 млн м<sup>3</sup> (или более 65 млн т), в мелком заполнителе 50–55 млн м<sup>3</sup> (или более 70 млн т) [1].

Однако расширение добычи основных типов заполнителей бетонов не всегда может быть реализовано. Месторождения нерудных материалов типа строительного камня, песчано-гравийных смесей и строительных песков не всегда могут быть использованы, так как они застроены, находятся в пойменных террасах рек или на других охраняемых территориях [2].

При этом бытовой и промышленный стеклобой, не находящийся в настоящее время широкого применения, но обладающий высокими прочностными характеристиками и доступностью, практически не используется как заполнитель бетонов. В России ежегодно образуется около 35–40 млн т твердых бытовых отходов, при этом рециклинг подвергается только 3–4% ТБО [3]. Ежегодный объем стеклобоя, попадающего на полигоны твердых бытовых отходов, составляет 2–6 млн т. В сравнении с годовой потребностью в заполнителях эта величина невелика, но необходимо учитывать экологический эффект не только от утилизации компонента ТБО, но и возможность снижения добычи природных ресурсов при замене на сырье антропогенного происхождения. Кроме того, использование отходов в 2–3 раза дешевле, чем природного сырья [4], расход топлива при использовании отдельных видов отходов снижается на 10–40%, а удельные капиталовложения – на 30–50%.

Тем не менее проблема взаимодействия натрий-кальциевого силикатного стекла с цементным камнем создает серьезные проблемы при использовании стеклобоя как эффективного наполнителя в цементных композиционных материалах. То же самое можно сказать о многих стеклосодержащих материалах (минеральных и стеклянных волокнистых материалах (вате), стеклоткани, пеностекле), которые могли бы быть использованы как эффективные заполнители в цементных композициях.

В результате щелочно-силикатной реакции образуется гель, который разбухает в присутствии влаги, приводя к образованию трещин и разрушению бетона. Данная реакция может протекать и в обычном бетоне, если наполнитель природного происхождения содержит реакционноспособный (обычно аморфный) оксид кремния.

С одной стороны, стекольный наполнитель способствует протеканию в бетоне щелочно-силикатной реакции вследствие того, что стекло содержит на поверхности Na<sup>+</sup>, способный при гидролизе создавать определенную концентрацию NaOH в цементной композиции даже в случае отсутствия щелочи в исходном цементе, а с другой – именно стекло содержит на поверхности соединения оксида кремния в аморфном виде.

Известны исследования натрий-кальциевого стекла как наполнителя цементного теста. В этом случае стекло-

бой различного состава и дисперсности добавлялся в цементную композицию и исследовались в основном расширение и прочность полученного бетона [5, 6]. Выявлено, что добавление стекла в композицию в большинстве случаев приводит к протеканию процесса щелочно-силикатного взаимодействия и снижению прочности. Также проведены исследования влияния температуры и состава стекла на указанное взаимодействие [7].

Было обнаружено, что порошки стекла высокой дисперсности приводят к отсутствию расширения образцов [8]. В этом случае авторы делают предположение о высокой скорости протекания процесса щелочно-силикатной реакции, что приводит к завершению процесса через 24–28 ч, вследствие чего в дальнейшем не может быть зафиксировано расширение и разрушение образцов.

Авторы предполагают, что для подавления процесса щелочно-силикатного взаимодействия в композициях стекло – цемент можно использовать стекло определенного гранулометрического состава [9, 10]. Для этих же целей можно использовать высокодисперсное стекло [11] и модификации композиций с добавлением соединений лития или циркония [5].

В данной работе рассмотрены различные варианты подавления щелочно-силикатного взаимодействия при использовании в качестве наполнителей бетона стеклобоя и продукта его переработки – пеностекла.

Эксперименты проводились в соответствии со стандартом ASTM C 1293–01 при повышенной температуре. Для этого стандартные образцы бетонов длиной 250 мм выдерживали при температуре 60°C в течение трех месяцев. Образцы периодически извлекали из термостата для контроля расширения. После охлаждения образца до комнатной температуры его длину измеряли с помощью оптического дилатометра. Контроль прочности образцов производили на машине для испытания на сжатие ИП 6010-100-1.

Для изготовления образцов использовали стандартный цемент М400 производства Пашийского цементного завода. Стеклобой получали дроблением в молотковой дробилке с последующим помолом в виброцентробежной мельнице ВЦМ-5000. Использовано гранулированное пеностекло производства ЗАО «Пеноситал» (Пермь) [12].

Для оценки интенсивности и глубины протекания

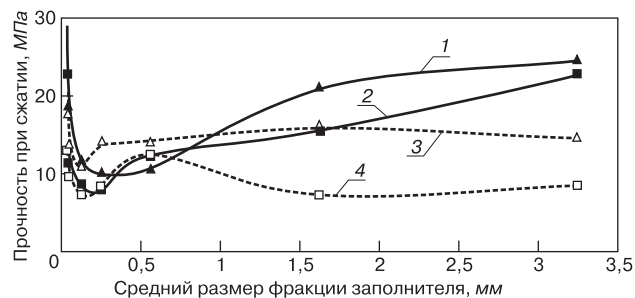


Рис. 1. Зависимость прочности бетонных композиций от размера стеклобоя в различных период времени при наличии и отсутствии дополнительной щелочи в композиции: 1 – в возрасте 13 недель без щелочи; 2 – в возрасте 1 неделя без щелочи; 3 – в возрасте 13 недель со щелочью; 4 – в возрасте 1 неделя со щелочью

щелочно-силикатной реакции проведен ряд экспериментов по взаимодействию цементного материала со стеклом различных фракций как при отсутствии в цементе дополнительной свободной щелочи, так и при ее наличии. Основным параметром, характеризующим протекание реакции, является расширение образцов бетонных композитов. Косвенным подтверждением и следствием данной реакции было снижение прочностных характеристик полученных бетонов. В качестве реперных образцов, в которых реакция не должна протекать, взяты бетоны с кристаллическим наполнителем — кварцевым песком.

Выявлено, что существенное расширение образцов, характерное для щелочно-силикатного взаимодействия, наблюдается только у бетонов с крупными (максимальными из исследованных) фракциями стекла (более 1,25 мм), причем эффект усиливается при дополнительном введении щелочи в состав бетонов.

Зависимость прочности при сжатии от времени выдержки бетонов позволила выявить аномально высокое значение прочности для образцов бесщелочных бетонов при использовании наполнителей как минимальной, так и максимальной исследованных фракций. Причем прочность получаемых бетонов значительно превосходит прочность бетонов без стеклянного заполнителя. Это особенность позволяет предположить влияние размера фракции наполнителя на прочность получаемых бетонов. Соответствующие зависимости прочности бетонов от фракции наполнителя в начальный и конечный периоды образования цементного камня представлены на рис. 1.

На всех кривых прослеживается явно выраженный минимум, соответствующий наполнителю фракции 0,1–0,3 мм. Характер зависимостей прочности от дисперсности наполнителя остается неизменным — с крупным ростом в области снижения размера наполнителя и плавным ростом в области повышения размера частиц наполнителя при использовании бесщелочных композиций и незначительным ростом и стабилизацией прочности в области повышения размера частиц наполнителя при использовании щелочных композиций. Со временем характер кривых не изменяется, но они смещаются вверх — к более высоким прочностным характеристикам по мере твердения цементного камня.

Поэтому использование стеклобоя крупных фракций (предпочтительно 1–1,2 мм и выше) возможно в качестве наполнителя в бетонах, причем прочность этих композитов превосходит прочность обычных бетонов на песчаном заполнителе. Однако при использовании таких заполнителей существуют как минимум две проблемы, связанные с возможностью протекания щелочно-силикатного взаимодействия. Во-первых, наличие в цементе или других компонентах бетона свободной щелочи неизбежно приводит к возникновению щелочно-силикатного взаимодействия и снижению прочностных характеристик бетонов. Во-вторых, в процессе крупнотоннажного производства сложно предотвратить самопроизвольное

дробление и истирание крупной фракции, что также ведет к снижению качества получаемого бетона.

При размере частиц наполнителя менее 50 мкм происходит аномальный рост прочности, значительно превышающий прочность композиций на стандартном наполнителе из кварцевого песка. Это может быть объяснено способностью дисперсного стекла к вступлению в процессы образования новых фаз при образовании цементного камня за счет высокой удельной поверхности порошков стекла. Указанная особенность высокодисперсного стекла может быть использована как для подавления процесса щелочно-силикатного взаимодействия в тех бетонных композициях, когда реакция имеет место, так и для создания вязущих материалов на основе дисперсного стекла [13].

Проблема крупных фракций стеклобоя с повышенным содержанием щелочи как заполнителя в бетонах может быть частично решена при дополнительном подавлении реакции щелочно-силикатного взаимодействия. Для этого намечено два легко осуществляемых технологических пути.

Во-первых, частичная кристаллизация стекла должна приводить к подавлению указанной реакции. Процесс кристаллизации на поверхности крупнодисперсного стекла может быть легко активирован при повышенных температурах в присутствии центров кристаллизации, например порошка кварцевого песка. Для этого в проходной вращающейся печи при 700–720°C производили термообработку стеклобоя фракции более 1 мм в засыпке из кварцевого песка. После разделения материалов стеклобой имел слабые пики кристаллизации на дифрактограммах. Косвенно процесс поверхностной кристаллизации подтверждает образование матовой пленки на поверхности частиц. Эксперименты с высокощелочными бетонами при использовании полученного заполнителя показали, что расширение образцов в сравнении с контрольными на немодифицированном стеклобое оказывается меньше в 2–7 раз и зависит от концентрации щелочи и фракции заполнителя.

Во-вторых, процесс подавления щелочно-силикатного взаимодействия в бетонах с наполнителем из стекла может быть подавлен добавками аморфного высокодисперсного оксида кремния. Для этого в экспериментах использовали три вида добавок: силикагель, дробленый до фракции менее 60 мкм, аэросил и стекло фракции менее 60 мкм, ионно-модифицированное заменой  $\text{Na}^+$  на  $\text{H}^+$ . Исследования показали, что все указанные добавки в количествах 0,5–5 мас.% эффективно подавляют щелочно-силикатное взаимодействие и позволяют получать бетоны с заполнителем из стекла, удовлетворяющие стандарту.

Мелкие фракции стекла нецелесообразно использовать в качестве заполнителя вследствие большей вероятности протекания щелочно-силикатного взаимодействия. Более перспективным представляется использование их для получения пеностекла. Причем гранулиро-

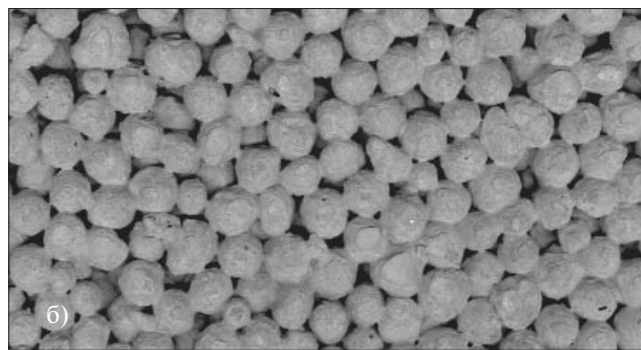
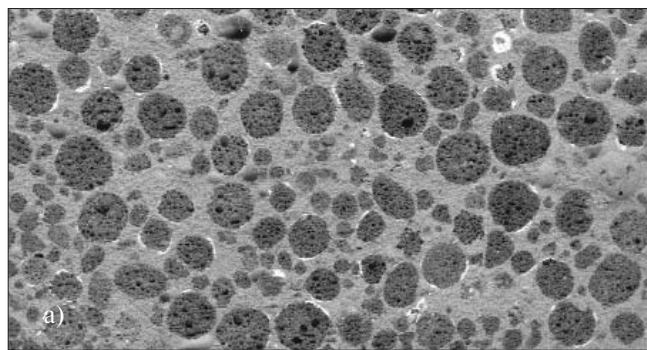


Рис. 2. Бетоны с заполнителем из пеностеклянного гравия при различной степени заполнения: а) отношение (мас.) пеностеклянный гравий/(цемент+песок) 0,265; б) отношение (мас.) пеностеклянный гравий/цемент 1,6

ванное пеностекло может применяться в бетонных композициях. В этом случае вопрос взаимодействия поверхности пеностеклянной гранулы с цементным камнем также остается актуальным. Например, в работе [14] рассмотрены композиция, состоящий из гранулированного пеностекла и пенобетона. Авторы по истечении 6 и 12 месяцев в зоне контакта пеностекла с пенобетоном не обнаружили дополнительных фаз, способных привести к коррозии и разрушению бетона, и утверждают, что пассивация возможных щелочно-силикатных реакций в зоне контакта цементный камень — пеностекло может быть объяснена добавкой в бетон золы-уноса ТЭС.

Возможность щелочно-силикатного взаимодействия проверена для бетонов с заполнителем из гранул пеностекла при различном объемном отношении бетона и гравия. Был использован пеностеклянный гравий различной фракции (1,25–10 мм), полученный при термообработке с использованием различных опудривателей — цемента, мела и дробленого кварцевого песка. Варьирование плотности пеностекла и отношения бетона и заполнителя позволяют получать материалы с широким диапазоном свойств и различного функционального назначения (рис. 2).

При использовании пеностеклянного гравия плотностью  $200 \text{ кг/м}^3$  и высокой степенью заполнения при отношении (мас.) пеностекло/(цемент+песок), равном 0,265, возможно получение легкого бетона плотностью  $1050 \text{ кг/м}^3$  с коэффициентом теплопроводности  $0,3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  и прочностью при сжатии 3,5 МПа. Применение в аналогичной композиции более тяжелого пеностеклянного гравия —  $400 \text{ кг/м}^3$  — приводит к получению бетона плотностью  $1350 \text{ кг/м}^3$  с коэффициентом теплопроводности  $0,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  и прочностью при сжатии 8,5 МПа.

Невысокая степень заполнения композиции бетоном позволяет изготавливать материалы литого или штучного исполнения, пригодные для использования в качестве теплоизоляционных самонесущих конструкций. На пеностеклянном гравии с насыпной плотностью  $200 \text{ кг/м}^3$  при отношении (мас.) гравий/цемент 1,6 плотность полученного материала составляет  $350 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности  $0,065 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , прочность при сжатии 1,1 МПа. Увеличение доли цемента в композиции приводит к более плотному материалу: при отношении (мас.) гравий/цемент 0,833 композиционный материал получается плотностью  $470 \text{ кг/м}^3$  с коэффициентом теплопроводности  $0,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  и прочностью 1,7 МПа.

Все указанные типы бетонов с гравием были исследованы на возможность расширения при протекании щелочно-силикатной реакции.

Результаты исследований расширения образцов по стандарту ASTM C 1293-01 показали, что для всех образцов, содержащих в качестве наполнителя пеностеклянный гравий, максимальное расширение не превышает 0,1%, что говорит об отсутствии протекания щелочно-силикатного процесса. Вероятно, это обстоятельство связано с тем, что в процессе термообработки каждая гранула неизбежно подвергается интенсивному воздействию частиц опудривателя, что приводит к кристаллизации материала, особенно в поверхностных слоях. Результаты рентгенофазового анализа показали наличие кристаллической структуры в полученном материале. Наиболее интенсивные пики могут быть отнесены к  $\alpha$ -кварцу при 0,425 нм и 0,335 нм и 0,182 нм и  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$  с характерными межплоскостными расстояниями 0,493, 0,38 и 0,329 нм. Вероятно, переход оксида кремния в кристаллические формы, особенно в поверхностной части гранул, не позволяет протекать реакции щелочно-силикатного взаимодействия. Кроме того, эксперименты показали, что увеличение фракции наполнителя приводит к более низкому значению показателя расширения.

В рамках поставленной задачи можно сделать следующие выводы. Недопустимо использование стеклобоя естественного или смешанного фракционного состава непосредственно в качестве заполнителя в бетоне из-за неизбежности протекания процесса щелочно-силикатного взаимодействия. Возможными путями подавления этого процесса может быть как модификация стекла, заключающаяся в термообработке крупных фракций совместно с активатором кристаллизации, так и добавки в бетон высокодисперсного аморфного оксида кремния различного происхождения. Мелкие фракции стеклобоя целесообразно перерабатывать в гранулированное пеностекло. Использование последнего как заполнителя в бетонах не обнаружило щелочно-силикатной реакции, что может быть связано со спецификой технологии получения материала.

#### Список литературы

1. Бруссер М.И., Сорокин Ю.В., Фаликман В.Р. Заполнители для бетона: современные требования к качеству // Строит. материалы. 2004. № 10. С. 62–63.
2. Лопатников М.И. Сырьевая база производства нерудных строительных материалов Российской Федерации // Строит. материалы. 2006. № 8. С. 42–44.
3. Анцупов Ю.А., Ильин А.В., Лукасик В.А. Изготовление отделочных плиток на основе полимерных отходов // Строит. материалы. 2004. № 1. С. 44–45.
4. Фахратов М.А. Эффективная технология использования промышленных отходов в производстве бетона и железобетона // Строит. материалы. 2003. № 12. С. 48–49.
5. Meyer C., Egesi N., Andela C. Concrete with waste glass as aggregate // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee UK. P. 179–181.
6. Byars E.A., Zhu H., Meyer C. Use of glass for construction products: legislative and technical issues // Sustainable Waste Management: Proceedings of the International Symposium 9–11 September 2003, Dundee UK. P. 827–838.
7. Sugiyama M. The experiment on compression strength and freeze-thaw resistance of the concrete which mixed the tile clip // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee UK. P. 189–194.
8. Remarque W., Heinz D., Schleusser C. Glass powder as a reactive addition for blast furnace cements // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee UK. P. 229–238.
9. Dhir R.K., Dyer T.D., Tang M.C. Expansion due to alkali-silica reaction (ASR) of glass cullet used in concrete // Sustainable Waste Management: Proceedings of the International Symposium 9–11 September 2003, Dundee UK. P. 751–760.
10. Meland I., Dahl P.A. Recycling glass cullet as concrete aggregates, applicability and durability // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee UK. P. 167–177.
11. Dyer T.D., Dhir R.K. Use of glass cullet as a cement component in concrete // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee UK. P. 157–166.
12. Кетов А.А., Пузанов И.С., Саулин Д.В. Опыт производства пеностеклянных материалов из стеклобоя // Строит. материалы. 2007. № 3. С. 70–72.
13. Кетов П.А., Корзанов В.С., Пузанов С.И. Использование вяжущих свойств дисперсных силикатных стекол при утилизации стеклобоя // Строит. материалы. 2007. № 5. С. 2–3.
14. Иванова С.М., Чулкова И.Л. Композиционный цементный пеностеклобетон // Строит. материалы. 2005. № 10. С. 22–24.



ПАРТНЕРСТВО • ПЕРСПЕКТИВА • ПРОЦВЕТАНИЕ

**Уникальный утеплитель, который Вы ждали!**

ТУ5914-001-73893595-2005

**ПЕНОСТЕКЛО ПЛИТНОЕ**

**ПОСТАВКА ЗАВОДОВ "ПОД КЛЮЧ"**

### Характеристики материала

плотность 150–600 кг/м<sup>3</sup>  
теплопроводность 0,03–0,16 Вт/(м·К)  
прочность при сжатии 0,5–7,5 МПа  
звукоизоляция 55 дБ

группа горючести НГ  
долговечность  
гигиеническая и  
экологическая безопасность

614990, Россия, г. Пермь, ул. Промышленная, 115

Тел./факс: (342) 294-95-14, 227-45-15, e-mail: info@penosytal.ru www.penosytal.ru

## Новая высокоэффективная отечественная смазка для опалубки

ООО «КОНСИТ-А» впервые в России освоило производство органобентонита – универсального структурообразователя масляных сред для увеличения дебита скважин при нефтедобыче, для производства высококачественных лакокрасочных материалов, создания высокоточного литья для авиации и др.

На базе этого реагента специалистами фирмы создана новая высокоэффективная смазка для опалубки «КОНСИТ».

Применяемые на ряде предприятий стройиндустрии отечественные смазки для опалубки оставляют на поверхности изделий черные пятна, припекаются к опалубке, имеют низкую термостойкость, стекают с вертикальных поверхностей. Кроме того, они неустойчивы во времени (расслаиваются), часто имеют резкий неприятный запах, требуют дополнительных затрат для приготовления из поставляемого концентрата на месте.

Новая высокоэффективная смазка «КОНСИТ» (ТУ 2332–002–11475513–2006) не расслаивается, имеет термостойкость до 150°C, не стекает с вертикальных

поверхностей. При использовании в технологии производства железобетонных изделий и монолитных конструкций обеспечивает высокую чистоту поверхностей бетона, отсутствие пятен и изъянов, обеспечивает легкое отделение опалубки от бетонных поверхностей.

Смазка «КОНСИТ» поставляется потребителям в готовом виде, имеет привлекательный внешний вид при полном отсутствии неприятного запаха. Наносится тонкой пленкой на металлические и другие вертикальные и горизонтальные поверхности; расход составляет 30–70 г/м<sup>2</sup> в зависимости от материала опалубки.

В 2005–2006 гг. были проведены испытания смазки «КОНСИТ» на ряде домостроительных комбинатов Москвы. Результаты испытаний и эксплуатации показали, что смазка «КОНСИТ» соответствует требованиям, предъявляемым к смазкам для изготовления современных железобетонных конструкций, в том числе кассетным способом, и может быть рекомендована к внедрению на заводах ЖБК и ЖБИ, а также для монолитного домостроения.

**ООО «КОНСИТ-А», 119180, Россия, Москва, а/я 29**

**Тел./факс: (495) 239-40-54, 236-04-16 E-mail: info@consit.ru**

Г.Г. ВОЛОКИТИН, д-р техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет; В.И. КУРЕЦ, д-р техн. наук, Томский политехнический университет; Д.В. ШАБАНОВ, инженер, Томский государственный архитектурно-строительный университет

## **Свойства мелкозернистых бетонов при их затворении суспензиями, полученными при электроимпульсном дроблении горных пород**

Мелкозернистые бетоны широко используют при изготовлении изделий и конструкций в тех регионах, где ощущается дефицит крупного заполнителя — гравия, щебня [1, 2]. По различным оценкам в стране ежегодно используют  $(300-500) \cdot 10^3 \text{ м}^3$  таких бетонов, применяемых в основном в густоармированных тонкостенных конструкциях. В качестве заполнителя в этих бетонах используют песок, который характеризуется более высокой удельной поверхностью, чем щебень или гравий в обычном тяжелом бетоне. Поэтому для мелкозернистых бетонов характерен повышенный расход вяжущего по сравнению с бетонами на крупном заполнителе.

Однако такой перерасход цемента можно снизить, если при изготовлении мелкозернистых бетонов применять различные методы активации его составляющих. Так, например, активация воды затворения, вяжущих и заполнителей позволяет повысить растворимость клинкерных материалов, ускорить процесс химического взаимодействия и кристаллизацию гидратных новообразований оптимального типа, обеспечивающих повышение прочности изделий, и при сохранении требуемых механических характеристик бетона позволяет снизить расход в нем цемента.

Положительные результаты получены при активации воды затворения высоковольтными импульсными разрядами [3].

Дальнейшее изучение возможности использования при производстве бетона электроразрядных технологий и поиск новых технологических решений, позволяющих обеспечить подготовку воды затворения, экономии цемента, повышение прочности и без введения специальных химических добавок улучшение таких строительно-технологических свойств бетонных смесей, как пластичность, ускорение набора распалубочной прочности продолжает быть актуальным.

Известно, что при электроимпульсном дроблении и измельчении горных пород образуются суспензии, которые, как правило, сбрасывают в отстойники, где они осветляются, а затем удаляются из процесса [4]. Ввиду того, что электроимпульсному дроблению подвергают различные горные породы при разных технологических параметрах, на суспензии воздействует различная электроразрядная обработка и поэтому они приобретают различные свойства.

В процессе электроимпульсного дробления образуются мелкодисперсные частицы. Их интенсивное омывание водой обеспечивает растворение и переход в жидкую фазу водорастворимых веществ, изменяющих ее ионный состав. Наличие активных соединений кислорода и водорода, обладающих большой реакционной способностью, ненасыщенных свободных радикалов приводит к протеканию в обрабатываемом объеме окислительно-восстановительных реакций; появляются новые не присутствовавшие до активации соединения [5]. В результате комплексное воздействие на

суспензии, образующиеся при электроимпульсном дроблении горных пород, проявляется при использовании суспензии в качестве жидкости затворения при их взаимодействии с цементом. Поэтому целесообразно выявить влияние на свойства мелкозернистого бетона различных технологических параметров электроимпульсной обработки рассматриваемых суспензий.

Для исследования влияния суспензии, полученной при электроимпульсном дроблении, на свойства мелкозернистых бетонов использовали гравий Томского месторождения, который разрушали в водопроводной воде. При изготовлении образцов мелкозернистого бетона в качестве вяжущего использовали цемент Топкинского цементного завода ПЦ400, заполнителем служил песок Асиновского месторождения. Определение прочности при сжатии проводили по ГОСТ 10180–90, для определения морозостойкости в соответствии с ГОСТ 10060.1–95 изготавливали образцы  $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ . Подвижность бетонной смеси определяли согласно ГОСТ 10181–2000.

Электроимпульсное дробление гравия осуществлялось при следующих параметрах источника импульсов: амплитуда импульса напряжения составляла  $U_n = 315 \text{ кВ}$ , разрядная емкость  $C_p = 0,02 \text{ мкФ}$ , длительность фронта импульса напряжения  $\tau_{\text{ф}} = 150 \text{ нс}$ , запасаемая энергия единичного импульса  $W = 992 \text{ Дж}$ , частота следования импульсов  $f = 1,5 \text{ Гц}$ . Отбор суспензии осуществляли в процессе дробления при различных суммарных энергиях, затрачиваемых для дробления гравия. Эксперименты проводили как при положительной, так и при отрицательной полярности импульса.

Одной из важных характеристик мелкозернистого бетона является его удобоукладываемость, которая определяется подвижностью бетонной смеси.

Как видно из представленных результатов (см. таблицу), подвижность бетонной смеси при использовании в ее составе суспензии, обработанной с положительной и отрицательной полярностью импульсов, имеет максимальные значения, которые существенно превышают распыл конуса контрольной бетонной смеси, затворенной водой, не прошедшей активирование.

Отмеченные различия, по всей видимости, связаны с различием физических процессов, протекающих при формировании канала разряда в случае отрицательной и положительной полярности импульса, а также со свойствами минерального заполнителя, поверхность которого несет определенный заряд [6]. Учитывая, что при положительной полярности импульса в суспензии накапливается положительный объемный заряд, а при отрицательной полярности — отрицательный и при этом основная часть песка состоит из кварца, который имеет отрицательный поверхностный заряд, его взаимодействие с зарядами и ионами суспензии приводит к увели-



Удельная энергия, затраченная на активацию, кДж/дм <sup>3</sup>	Расплав конуса, мм	Прочность при сжатии, МПа						
		Продолжительность твердения, сут						
		1	3	7	14	21	28	180
Контрольная смесь	128	1,52	7,9	18,1	28,8	31,3	33,3	41,4
<b>Положительная полярность импульса</b>								
11	115	1,9	11,3	23,7	31,1	36,2	39,4	43
22	131	3,3	10,9	22,6	27,8	35,9	35,6	44,6
55	148	1,2	5,9	15	29,8	36,6	38,7	44,2
110	153	2	10,6	23,7	34,5	37,1	43	47
250	128	4,3	13,3	25	34,3	36,8	42,2	45,5
500	116	4,2	28	32,9	37,6	40,8	45,4	50,8
<b>Отрицательная полярность импульса</b>								
11	135	1,6	9,4	15	18,4	23,3	28,2	47,03
22	165	2,2	9,3	19,1	34,1	26,4	36	50,5
55	169	2,6	9,5	15,7	20,2	23,8	27,3	35,7
110	148	2,5	9,4	18,9	24,8	28,9	34,4	46,1
250	137	3,8	11,3	18,8	30	32,3	39,7	47,5
500	130	3	11,6	21,3	25,4	30,6	32,8	45,8

чению подвижности бетонной смеси при отрицательной полярности по сравнению с положительной [7].

Таким образом, изменение суммарной энергии электроимпульсной обработки суспензий, используемых для затворения мелкозернистых бетонов, позволяет регулировать подвижность смеси и соответственно ее удобоукладываемость. Если целью использования для затворения суспензии является существенное увеличение подвижности бетонной смеси, то предпочтительно использовать суспензию, отобранную при отрицательной полярности импульсов, при которых обрабатывается гравий.

В работе изучали влияние на прочность при сжатии бетонных образцов применения для их затворения суспензий, полученных при электроимпульсном дроблении гравия (см. таблицу). Как следует из представленных экспериментальных данных, при активации воды затворения положительными импульсами во всем диапазоне изменений затраченной энергии наблюдается увеличение скорости набора прочности мелкозернистых бетонов. Особенно существенное увеличение скорости набора прочности мелкозернистых бетонов фиксируется через 3–7 сут после затворения. Так использование суспензий, полученных при дроблении гравия на положительных импульсах, при суммарной удельной затраченной энергии 500 кДж/дм<sup>3</sup>, обеспечивает в 3 сут возрасте прочность бетонных образцов, равную 14 сут прочности контрольных образцов, а в 7 сут возрасте – прочность, соответствующую 28 сут прочности контрольных образцов.

При этом прочность образцов в возрасте 7 сут превышает контрольные значения на ~40%. В дальнейшем интенсивность роста прочности бетона снижается, но прочность образцов, затворенных на активированной суспензии, во все сроки твердения выше, чем у контрольных образцов. Вместе с тем использование для затворения мелкозернистых бетонов суспензии, отобранной при дроблении гравия импульсами отрицательной полярности, практически во всем диапазоне изменения энергозатрат снижает скорость роста прочности мелкозернистых бетонов.

Из представленных данных следует, что для практического применения целесообразно использовать суспензии, полученные при дроблении гравия импульсами положительной полярности с затратами удельной энергии 110 кДж/дм<sup>3</sup>.

Известно [7], что основной причиной, вызывающей разрушение бетона в процессе попеременного замораживания и оттаивания, является давление на стенки пор и устья микротрещин, создаваемое замерзшей водой.

Данные о влиянии на прочность и морозостойкость мелкозернистого бетона, затворенного на неактивированной водопроводной воде и на суспензии, отобранной в процессе дробления гравия высоковольтными импульсами положительной полярности с затратой удельной энергии 110 кДж/дм<sup>3</sup> показывают, что образцы, полученные при использовании активированной высоковольтными импульсами суспензии, идентичны по своим свойствам контрольным; их морозостойкость составляет 200 циклов.

Таким образом, показано, что использование для затворения мелкозернистых бетонов суспензий, полученных при электроимпульсном дроблении горных пород, положительно влияет на свойства мелкозернистого бетона.

#### Список литературы

1. Гендин Т.А., Толкынбаев Т.А. Повышение качества бетона в результате уменьшения его деструкции в процессе электротермообработки. М.: Машиностроение. 1998. 178 с.
2. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. М.: Издательство АСВ. 1999. 240 с.
3. Гаврилов Г.Н., Курков В.И. и др. Влияние электрического разряда на свойства цементного камня // Электрический разряд в жидкости и его применение в промышленности. Николаев. 1988. Ч. II. С. 87–88.
4. Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2002. 324 с.
5. Перевязкина Е.Н., Рязанов Н.Д. Природа обеззараживающего действия импульсного электрического разряда в воде // Электроимпульсная технология и электромагнитные процессы в нагруженных телах. Томск: ТПИ. 1982. С. 98–99.
6. Ушаков В.Я. Импульсный пробой жидкостей. Томск. 1975. 256 с.
7. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат. 1981. 464 с.

## **Самоуплотняющиеся растворы для кирпичной кладки**

Кирпичная кладка — композиционный материал со сложной регулярной структурой, отличающийся высокими физико-техническими свойствами. Недостатком ее является необходимость использовать высококвалифицированный ручной труд при возведении конструкций из кирпича. Высокое качество конструкций не может быть достигнуто только при соблюдении требований к материалам; особое внимание требуется от людей, выполняющих работу. Необходимо отметить, что влияние «фактора каменщика» проявляется не только на эстетических свойствах конструкции, но и на основных физико-механических свойствах и долговечности. Сложившаяся экономическая и социальная ситуация в стране привела к тому, что возник дефицит высококвалифицированных каменщиков. Это одна из причин, по которой кирпичная кладка постепенно вытесняется другими материалами, несмотря на ее достоинства — высокую эстетичность и долговечность, возможность обойтись без чистой отделки фасадов.

Воспитание персонала — длительный процесс, поэтому решение этой проблемы необходимо связывать с совершенствованием технологии материала для сокращения трудоемкости и снижения влияния «фактора каменщика» при возведении кирпичной кладки.

Технологические приемы, такие как вибрирование, формирование швов с помощью шаблонов и гребенок, малоприменимы, несмотря на то что они позволяют повысить качество и механические свойства кладки, поскольку повышается сложность возведения и трудоемкость и, как следствие, стоимость.

Наиболее перспективным представляется путь оптимального подбора материалов кладки с заданными свойствами — кирпича, блоков и раствора. Совершенствование структуры и снижение дефектности кирпича — дорогостоящий путь развития кирпичной кладки. Возможно изменение геометрических размеров кирпича, повышение высоты камня и снижение количества горизонтальных швов кладки, что приводит к увеличению прочности кладки и к снижению трудоемкости возведения. Но этот путь ограничен массой блока и усложнением технологии производства. Следует отметить, что наличие технологических пустот в кирпиче и блоках упрощает формирование кирпича, повышает его теплотехнические свойства. Также упрощается процесс формирования постели горизонтальных швов, поскольку при выравнивании и осаживании кирпича часть раствора проникает в пустоты. При этом существенным недостатком остается сложность заполнения вертикаль-

ных швов раствором, а также частичное заполнение пустот раствором, что снижает теплопроводность кладки [1].

Качество раствора позволяет более эффективно влиять на свойства кирпичной кладки. Нормативные документы регулируют подвижность, прочностные свойства, плотность, теплопроводность, морозостойкость, а также в отдельных случаях прочность сцепления (СП 82-101-98 «Применение и приготовление растворов строительных»). Следует оптимально подбирать раствор под конкретные задачи возведения конструкций. Общие требования к подвижности растворной смеси приведены в табл. 1.

Отклонение оптимальной подвижности растворной смеси на 10–20% повышает трудоемкость возведения кладки и настолько же снижает ее прочность.

При подборе состава раствора необходимо учитывать множество факторов — вид кирпича, вид и расход вяжущего, вид заполнителя и наполнителя, его гранулометрический и минеральный состав, водовяжущее отношение. Более пластичные известковые и смешанные растворы лучше разравниваются и легче тянутся за кельмой, благодаря чему снижается трудоемкость возведения. Более жесткие цементные растворы требуют большой трудоемкости возведения кладки, более подвержены образованию и развитию трещин, поэтому снижение трудоемкости возведения кирпичной кладки за счет изменения состава раствора — первоочередная задача.

При совершенствовании качества раствора принципиально важно рассматривать возможность подбора состава с каркасом заполнителя или с плавающим заполнителем. При этом возможно добиться повышения прочности раствора по сравнению с обычным составом с формирующимся каркасом [2]. Но необходимо учитывать, что физико-механические свойства раствора определяются не только заполнителем, но и структурой матрицы вяжущего и контактного слоя заполнителя — матрица [3].

Необходимо, чтобы кладочный раствор самоуплотнялся под воз-

**Таблица 1**

Вид раствора	Рекомендуемая подвижность ОК, см
Растворы, применяемые для монтажа стен из крупных бетонных блоков, панелей и для расшивки горизонтальных и вертикальных швов в стенах из панелей и крупных блоков	5–7
Растворы, применяемые при подаче растворонасосом	14
Растворы, применяемые для кладки из обыкновенного кирпича, бетонных камней и камней из легких пород (туф и др.)	9–13
Растворы, применяемые для обычной кладки из пустотелого кирпича или керамических камней	7–8
Растворы, применяемые для обычной бутовой кладки	4–6
Растворы для заливки пустот в кладке	13–14
Растворы для вибрированной бутовой кладки	1–3

Таблица 2

Отношение цемент:песок	Водотвердое отношение, при водоцементном отношении											
	0,1	0,2	0,3	0,38	0,4	0,5	0,6	0,7	0,753	0,8	0,9	1
1:1	0,033	0,067	0,1	0,127	0,133	0,167	0,2	0,233	0,251	0,267	0,3	0,333
1:1,5	0,067	0,133	0,2	0,253	0,267	0,333	0,4	0,467	0,502	0,533	0,6	0,667
1:2	0,05	0,1	0,15	0,19	0,2	0,25	0,3	0,35	0,377	0,4	0,45	0,5
1:2,5	10,04	0,08	0,12	0,152	0,16	0,2	0,24	0,28	0,301	0,32	0,36	0,4
1:3	0,033	0,067	0,1	0,127	0,133	0,167	0,2	0,233	0,251	0,267	0,3	0,333
1:3,5	0,029	0,057	0,086	0,109	0,114	0,143	0,171	0,2	0,215	0,229	0,257	0,286
1:4	0,025	0,05	0,075	0,095	0,1	0,125	0,15	0,175	0,188	0,2	0,225	0,25
1:4,5	0,022	0,004	0,067	0,084	0,089	0,111	0,133	0	0,167	0,178	0,2	0,222
1:5	0,02	0,04	0,06	0,076	0,08	0,1	0,12	0,14	0,151	0,16	0,18	0,2
1:6	0,017*	0,033	0,05	0,063	0,067	0,083	0,1	0,117	0,126	0,133	0,15	0,167
1:7	0,014*	0,029*	0,043	0,054	0,057	0,071	0,086	0,1	0,108	0,114	0,129	0,143
1:8	0,013*	0,025*	0,038	0,048	0,05	0,063	0,075	0,088	0,094	0,1	0,113	0,125
1:9	0,011*	0,022*	0,033*	0,042	0,044	0	0,067	0,078	0,084	0,089	0,1	0,111
1:10	0,01**	0,02*	0,03*	0,038*	0,04	0,05	0,06	0,07	0,075	0,08	0,09	0,1

\* Нерекондуемое В/Т. \*\* Недопустимое В/Т.

действием веса вышележащих слоев кладки. Для этого используется вяжущее с низкой водоотдачей. Правильный выбор водотвердого отношения позволяет добиться уплотнения смеси [4, 5]. Для самоуплотнения швов целесообразно использовать бескаркасные растворы. При этом снижается внутреннее трение растворной смеси за счет отсутствия непосредственного соприкосновения зерен заполнителя.

Основной целью является повышение подвижности и снижение водоотделения при сохранении водоцементного отношения не выше рекомендуемых пределов; выбор мероприятий, позволяющих повысить подвижность смеси под нагрузкой собственного веса и веса вышележащего ряда кладки в начальный момент времени. Для решения поставленной задачи можно рассчитать на основании виброреологических моделей наиболее эффективное количество воды в цементно-водной суспензии, располагающейся в межзерновых пустотах мелкого заполнителя [2, 4]. Расчет основывается на принципе максимального заполнения межзерновых пустот при оптимальном водотвердом отношении (вода/(цемент + заполнитель)). Количество воды изменяет параметры уплотнения песчаной смеси как при наличии виброуплотнения, так и без него. Исходя из этих положений рассчитано рекомендуемое водотвердое отношение (В/Т) для различных составов растворов (табл. 2).

Важным условием является отсутствие каркаса мелкого заполнителя в растворе. Упаковка заполнителя производится с раздвижкой зерен, межзерновые пустоты заполняются смесью наполнителя с цементом. При этом принципиальное значение приобретают соотношение физико-механических характеристик структурных составляющих раствора, каркаса, матрицы и контактного слоя заполнитель – вяжущее. Моделирование упаковки заполнителя сферическими частицами позволяет выделить три наиболее часто встречающихся схемы: *плотная упаковка*, когда каждое зерно расположено в вершине тетраэдра и касается 12 других, пустотность при данной схеме упаковки составит 25,8%; *рыхлая упаковка*, когда каждое зерно расположено в вершине куба и соприкасается с шестью другими, пустотность при данной схеме упаковки 47,6%; *упаковка с раздвижкой зерен* или имеющая смешанный характер.

Для иных мелких заполнителей в связи с наличием разных фракций зерен неправильной формы и различной влажности упаковка более сложная, но пустотность упаковки на основании экспериментальных данных позволяет принять предложенные схемы для оценки упаковки заполнителя.

Наиболее эффективной с точки зрения формирования самоуплотняющихся растворов является схема с коэффициентом раздвижки зерен  $K_{раздв} > 1$  (рис. 1). При этом отсутствуют пятна непосредственного

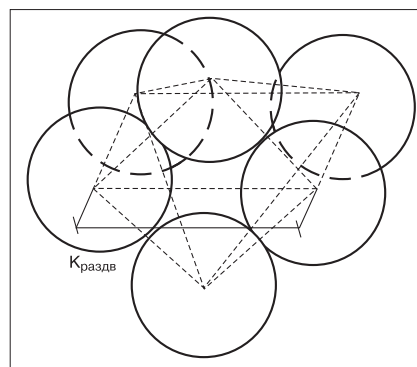


Рис. 1. Смешанная упаковка с раздвижкой идеальных зерен

контакта между зернами заполнителя, благодаря чему достигается вязкость раствора, что позволяет ему уплотняться под действием вышележащих слоев.

В зависимости от соотношения прочностных характеристик структурных элементов можно выделить три основные схемы разрушения: при заполнителе более прочном, чем цементный камень или зона контакта; при заполнителе менее прочном, чем цементный камень или зона контакта; при наименее прочной контактной зоне заполнитель – цементный камень.

Это обозначит опасные плоскости при разрушении и характер разрушения под нагрузкой или при климатических воздействиях, позволит описать и предложить пути повышения прочности кладки на данном уровне за счет использования оптимальной схемы упаковки. Наиболее вероятные плоскости

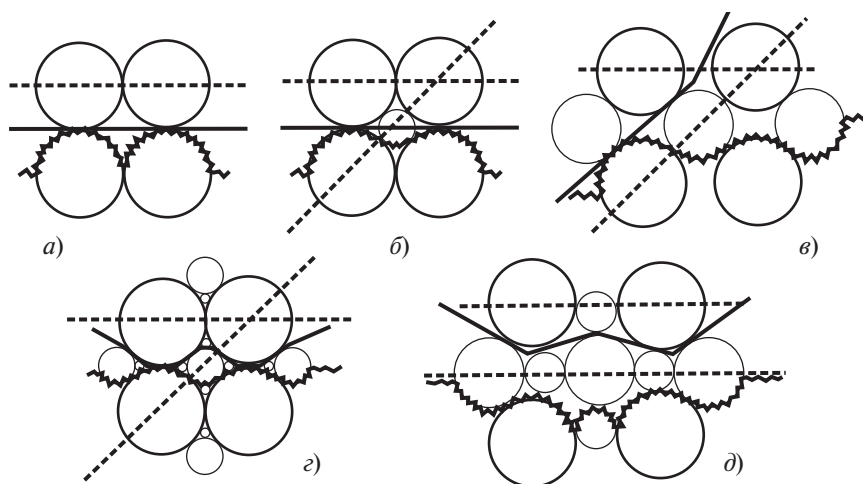


Рис. 2. Схемы разрушения растворной составляющей при разнофракционном составе: а – однофракционный; б – двухфракционный при  $K_{раздв} \leq 1$ ; в – двухфракционный при  $K_{раздв} > 1$ ; г – трех- или более фракционный при  $K_{раздв} \leq 1$ ; д – трех- или более фракционный при  $K_{раздв} > 1$

разрушения элементов растворной составляющей представлены на рис. 2, причем наиболее опасные будут с одинаковой степенью проявлять себя при любых напряженных состояниях.

Для формирования более прочной структуры необходимо выбрать схему, которая обеспечивает наибольшую протяженность линии разрушения, добиваясь распределения действующих напряжений на большее количество структурных элементов. При этом разрушение происходит с затратой большего количества энергии, формируется более длинный путь развития трещин.

Из представленных схем можно сделать следующие выводы. При низкопрочном заполнителе наиболее выгоден вариант многофракционной упаковки с коэффициентом раздвижки зерен  $K_{раздв} > 1$ , что подходит для растворов на пористом песке, например керамзитовом, для получения легких, эффективных кладочных растворов. При прочном заполнителе наиболее выгодна схема упаковки двух- или более фракционной смеси с коэффициентом раздвижки зерен  $K_{раздв} > 1$ . При слабом цементном камне эффективна схема упаковки многофракционного состава с коэффициентом раздвижки зерен  $K_{раздв} > 1$ . При наиболее слабой зоне контакта, низкой адгезии цементного камня к заполнителю

наиболее предпочтителен первый вариант упаковки с использованием однофракционного состава заполнителя или схема многофракционного заполнителя при коэффициенте раздвижки зерен  $K_{раздв} > 1$ .

Особенностью цементно-песчаных растворов является достаточно низкая прочность сцепления в контактной зоне при высокой прочности заполнителя и цементного камня матрицы. Поэтому целесообразно использовать схему упаковки заполнителя наиболее эффективную для данного случая, при отсутствии непосредственного контакта между зернами, то есть  $K_{раздв} > 1$ . Раздвижка зерен обеспечивается заполнителем, межзерновые пустоты которого заполняются цементом.

Заполнитель, наиболее пригодный для формирования прочной и долговечной структуры, должен быть мало подвержен изменениям в процессе эксплуатации. Перспективным представляется использование микрокремнезема или муки известняковых или магнезиальных пород (мрамора, доломитов, известняка и т. д.). Взаимодействуя с цементным камнем, они формируют реакционную кайму вокруг зерен заполнителя, увеличивая однородность структуры. При этом связывается часть гидроксида кальция, что повышает коррозионную стойкость [6].

Водоцементное отношение должно подбираться таким образом, что бы водоотвердое отношение обеспечивало формирование литой смеси, когда межзерновые пустоты заполняются суспензией наполнителя и цемента, обеспечивая реализацию эффекта самоуплотнения [3, 4].

Экспериментальная проверка производилась на образцах цементного раствора состава цемент:наполнитель:песок 1:1,5:1,6:3,1 (В/Ц=0,7); 1:0,95:1,05 (В/Ц=0,9). Сравнение производилось с контрольным образцом цемент:песок=1:2,9 (В/Ц=0,7). Водоцементное отношение подбиралось для выравнивания подвижности смесей и обеспечения литой смеси (ОК=12–13 см), с полностью заполненными межзерновыми пустотами заполнителя, суспензией наполнителя и цемента.

При этом необходимо отметить, что после 45 мин выдержки в оцениваемых составах водоотделение составило менее 1%, тогда как у контрольного – 2–3%.

Существенно изменилась прочность в возрасте 28 сут по сравнению с контрольным образцом, результаты испытаний приведены в табл. 3.

Предложенные составы показали, что смеси меньше расслаиваются и показывают большую прочность при сжатии приблизительно в 2 раза и в 1,5 раза – при изгибе при сохранении расхода цемента.

Из вышеизложенного следует, что использование самоуплотняющихся растворов позволяет снизить влияние зоны контакта кирпича и раствора, повысить прочность кирпичной кладки.

#### Список литературы

1. Шлегель И.Ф. Эффективен ли пустотный кирпич? // Строит. материалы. 2006. № 7. С. 42–43.
2. Королев Е.В., Прошин А.П., Баженев Ю.М., Соколова Ю.А. Радиационно-защитные и коррозионно-стойкие серые строительные материалы. М.: Палеотип. 2005.
3. Боженев П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. М.: Изд-во АСВ. 1994.
4. Беленцов Ю.А. Использование эффекта самоуплотнения песчаной смеси при подборе состава строительных растворов // Строительство и реконструкция. 2005. № 3. С. 14–15.
5. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. М.: Гос. изд. литературы по строительству и архитектуре. 1956. 252 с.
6. Значко-Яворский И.Л. Очерки истории вяжущих. М.–Л.: Изд-во АН СССР. 1963.

Таблица 3

Состав	Прочность, МПа	
	при изгибе	при сжатии
1:1,55:1,6 В/Ц=20,9	20,5	4,87
1:0,95:1,05 В/Ц=20,1	31,8	5,66
Контрольный	15,3	4,1

Ю.М. БАЖЕНОВ, д-р техн. наук, ФАМ ТОАН ДЫК, инженер,  
Московский государственный строительный университет

## Повышение водонепроницаемости бетона в условиях влажного жаркого климата

В настоящее время в Социалистической Республике Вьетнам строят средние и малые гидротехнические сооружения для улучшения энергоснабжения и решения ряда сельскохозяйственных задач. Однако практически у 75–80% гидротехнических сооружений после определенного периода эксплуатации, который намного меньше проектного срока службы, происходит нарушение гидроизоляции. Высокая температура летнего периода во Вьетнаме негативно влияет на структурообразование бетона – способствует ускорению сроков схватывания цемента, вызывает повышение тепловыделения, испарение воды, что приводит к повышению усадки и появлению трещин в объеме бетона.

С целью повышения надежности гидроизоляции для облицовки гидротехнических сооружений предложен мелкозернистый бетон, который имеет высокую плотность, прочность и водонепроницаемость. Для его создания был использован бездобавочный цемент завода Хоанг Май марки М400 и применена комплексная добавка золы-уноса и полифункционального модификатора (ПФМ), который состоит из суперпластификатора С-3, гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости (ГКЖ-11) [1] и золы рисовой шелухи (ЗРШ). Расход воды обеспечивал подвижность бетонной смеси от 160 до 170 мм по распылу конуса на встряхивающем столике. Предложенный состав бетона и технология его приго-

товления позволяют в определенной степени уменьшить отрицательное влияние этих явлений.

Опыты проведены в лабораторных условиях и в натуральных летних условиях севера Вьетнама при максимальной интенсивности солнечной радиации 550–800 ккал/м<sup>2</sup>·ч, температуре воздуха 26–34°C, относительной влажности 55–85% и скорости ветра 0,5–2,5 м/с. При проведении эксперимента были приняты следующие условия: нормальные лабораторные (А); натурные на солнце без влажного укрытия (Б); натурные на солнце при влажном укрытии в течение 7 сут с последующим воздушным твердением (В). Результаты исследований приведены в таблице и на рисунке.

Приведенные данные показывают, что при введении в состав бетона добавок водонепроницаемость бетонных образцов повышается от 56 до 77% по сравнению с контрольными.

Повышение водонепроницаемости бетона с добавками обуславливается уменьшением водопотребности бетона при сохранении равноподвижности бетонной смеси и заполнением пор и капилляров зернами тонкодисперсных минеральных добавок, что способствует повышению плотности бетона, уменьшению объема и размера открытых пор и капилляров.

Водонепроницаемость образцов бетона в возрасте 90 сут выше водонепроницаемости образцов в возрасте 28 сут. Это объясняется тем, что после 28 сут твердения кислые оксиды, содержащиеся в золе рисовой шелухи (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.), продолжают взаимодействовать с Ca(OH)<sub>2</sub>, выделяющимся при гидратации портландцемента, и образовывать гидросиликаты, гидроалюминаты, гидроферриты кальция, обладающие вяжущими свойствами и малой растворимостью. Это приводит также к повышению прочности и плотности бетона.

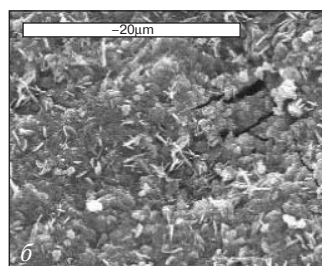
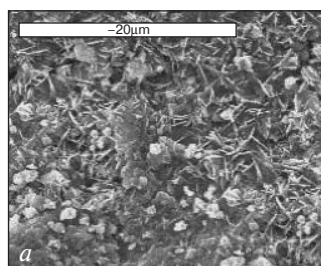
Результаты, приведенные в таблице, показывают, что водонепроницаемость образцов бетона, твердевших в натуральных летних условиях без влажного укрытия, уменьшается на 43–44% по сравнению с контрольными, твердевшими в лабораторных условиях. Это можно объяснить следующим. В условиях ВЖК испарение влаги из свежеуложенного бетона происходит интенсивно, что приводит к его значительной пластической усадке, нарушающей формирующуюся структуру бетона. В то же время на всех структурных уровнях бетона происходит сдерживание усадочных деформаций, приводящее к увеличению внутренних напряжений. В результате возникают микротрещины в цементном камне, в контактной зоне с заполнителями и растрескивание на поверхности образцов, что приводит к значительному ухудшению физико-механических свойств бетона, в том числе водонепроницаемости.

Введение добавок в сочетании с влажным уходом обеспечивает получение качественной структуры бетона и его высокую водонепроницаемость.

### Литература

1. Батраков В.Г. Улучшение свойств бетонной смеси и бетона полифункциональными модификаторами (ПФМ) // Модифицированные бетоны. Теория и практика. М. 1998. С. 463–521.

Свойство	Состав МЗБ			
	1	2	3	4
Содержание компонентов, кг/м <sup>3</sup> :				
• цемент	440	440	440	350
• песок	1532	1510	1510	1495
• вода	264	240	240	248
• зола-унос	—	—	—	90
• С-3	—	1,98	1,98	1,58
• ГКЖ-11	—	—	1,76	1,4
• ЗРШ	—	44	44	35
Водонепроницаемость, МПа, при твердении в условиях А:				
• в возрасте 28 сут	0,9	1,4	1,6	1,4
• в возрасте 90 сут	1	1,5	1,7	1,6
при твердении в условиях Б:				
• в возрасте 28 сут	0,5	0,8	0,9	0,8
при твердении в условиях В:				
• в возрасте 28 сут	0,9	1,5	1,6	1,5



Структура цементного камня с добавкой ПФМ (состав 3) в возрасте 28 сут твердения: а) в нормальных условиях (А); б) в натуральных условиях без ухода

М.В. КАФТАЕВА, канд. техн. наук, Ш.М. РАХИМБАЕВ, д-р техн. наук  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## Влияние фазового состава портландцементных клинкеров на вяжущие свойства цементов в мелкозернистых прессованных бетонах

Мелкозернистые бетоны, изготавливаемые интенсивными методами (прессование, вибропрессование, экструзия и др.), отличаются от пластичных бетонов структурой и свойствами [1–3].

На суммарную активность портландцемента влияет вклад большого количества удельных активностей отдельных фаз. Однако до настоящего времени характер влияния минералогического состава портландцементных клинкеров на свойства прессованных бетонов не выявлен.

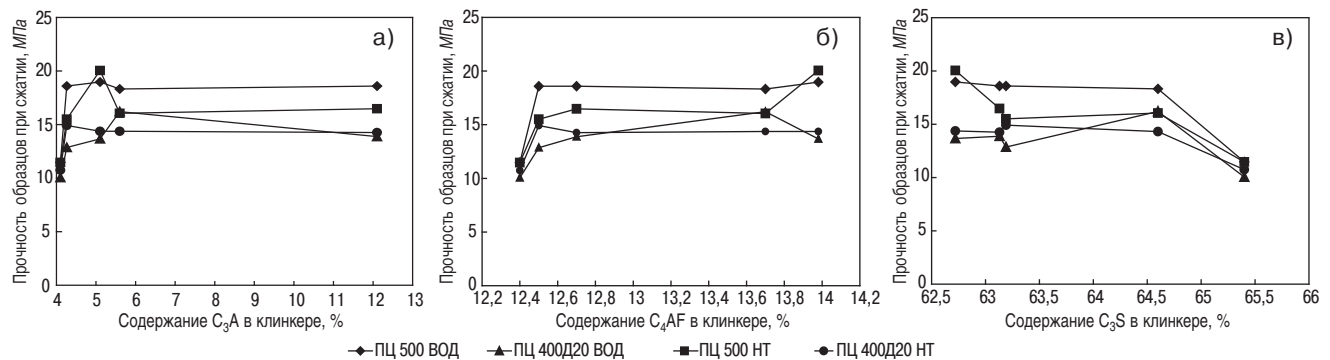
Целью нашего исследования является выявление влияния различных клинкерных минералов на изменение прочности мелкозернистых прессованных бетонов во времени.

Исходными материалами для прессованных образцов были выбраны цементы: ЗАО «Белгородс-

кий цемент» (Б), ОАО «Новотроицкий цементный завод» (Н), ЗАО «Уралцемент» (У), ОАО «Осколцемент» (О), ОАО «Кавказцемент» (К) и кварцевый песок Нижнеолшанского месторождения Белгородской обл. с  $M_{кр}=1,16$ . Клинкеры цементов отличались минералогическим составом (табл. 1). В табл. 2 приведены некоторые физико-механические показатели цементно-песчаных прессованных образцов-цилиндров диаметром 36 мм при Ц/П = 0,5 и В/Ц = 0,22. Масса смеси для формования одного образца 90 г. Давление прессования принято 10 МПа. Таким образом, при одном и том же усилии прессования формировалась структура с примерно близкой плотностью  $2000 \pm 0,7$  кг/м<sup>3</sup>, что в дальнейшем исключило влияние

этих факторов на процессы гидратации и структурообразования цементного камня. В качестве варьируемых факторов исследовали влияние вида, марки цемента и условий твердения образцов.

Реальная активность у цементов одной марки отличалась незначительно. Так, цементы ПЦ500Д0 имели прочность от 50,4 МПа – ЗАО «Новотроицкий цементный завод» до 52,6 МПа – ЗАО «Уралцемент». Для цементов марки ПЦ400Д20 разница в прочности также невелика: от 40,4 МПа у ЗАО «Уралцемент» до 43,4 МПа у ОАО «Кавказцемент». При этом содержание минеральной добавки в цементах «Д-20» составляло 16,7–18,4%. Цементы ОАО «Осколцемент» (выпускает два класса цемента по европейскому стандарту EN-196) обладали несколько иными



Зависимость прочности при сжатии от содержания  $C_3A$  (а),  $C_4AF$  (б) и  $C_3S$  (в) в клинкере цементов: ВОД – образцы, твердевшие в воде; НТ – образцы, твердевшие в воздушно-влажных условиях

Таблица 1

Марка цемента	Изготовитель	Индекс образца	Расчетный минералогический состав клинкеров, мас. %				Содержание $SO_3$ , мас. %
			$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$	
ПЦ500Д0 ПЦ400Д20	ЗАО «Белгородский цемент»	Б-500	65,4	18,1	4,1	12,4	2,92
		Б-400Д20					2,25
ССПЦ500Д0 ССПЦ400Д20	ОАО «Новотроицкий цементный завод»	Н-500	62,7	18,2	5,1	13,98	2,27
		Н-400Д20					1,74
ПЦ500Д0 ПЦ400Д20	ЗАО «Уралцемент»	У-500	63,1	13,9	12,1	12,7	1,24
		У-400Д20					1,9
СЕМІ-52,5N СЕМІ-42,5R	ОАО «Осколцемент»	О-52,5N	64,6	16,1	5,6	13,7	3,5
		О-42,5R					3,2
ПЦ500Д0-Н ПЦ400Д20	ОАО «Кавказцемент»	К-500	63,2	20	4,26	12,5	2,69
		К-400Д20					2,17

Таблица 2

Индекс образца	Тонкость помола, проход через сито №008, %	Сроки схватывания, ч-мин		Прочность в 28 сут возрасте, МПа	
		начало	конец	при изгибе	при сжатии
Б-500 Б-400Д20	91,6 88,9	2-15 3-15	3-05 4-35	7,9 7,8	51 43,6
Н-500 Н-400Д20	89,4 88,2	2-30 4-10	3-40 5-20	6,5 6,33	50,4 43,1
У-500 У-400Д20	93,08 89,9	3-10 3-30	4-15 4-20	6,7 6	52,6 40,4
О-52,5N О-42,5R	99,3 98,2	1-05 1-10	2-10 2-20	8,7 8,1	58,2 56,1
К-500 К-400Д20	88,6 91,5	1-30 3-00	2-40 3-50	6,6 6,5	50,7 43,4

Таблица 3

Индекс образца	Условия твердения					
	Воздушно-влажное твердение $T=(20\pm 2)^\circ\text{C}$ , $W>90\%$			Водное твердение $T=(20\pm 2)^\circ\text{C}$		
	Прочность при сжатии $R_{cp}$ , МПа в возрасте, сут					
	3	7	28	3	7	28
Н-500 Б-400Д20	7,23 6,42	9,6 9,4	11,47 10,74	6,42 5,34	9,15 7,84	11,48 10,05
Н-500 Н-400Д20	13,1 9,04	17,56 9,67	20,05 14,37	11,67 6,48	17,1 8,59	18,97 13,67
У-500 У-400Д20	8,13 9,13	11,71 10,26	16,48 14,26	8,21 6,64	8,86 6,84	18,59 13,88
О-52,5N О-42,5R	13,7 10,7	14,37 12,91	16,05 14,37	10,75 8,85	11,8 9,21	18,32 16,21
К-500 К-400Д20	8,8 6,96	11,22 8,18	15,51 14,92	8,32 6,37	10,2 7,43	18,59 12,86

прочностными свойствами. Цемент класса СЕМІ-42,5R относится к быстротвердеющим цементам и при испытании по российским стандартам имел в возрасте 28 сут активность 46,1 МПа, а цемент класса СЕМІ-52,5N – 58,2 МПа. Такое превышение прочности, вероятно, обусловлено повышенной тонкостью помола. Остаток рассматриваемых цементов на сите № 008 составлял 1,8 и 0,7% соответственно.

В табл. 3 приводятся данные, характеризующие влияние условий твердения на кинетику изменения прочности при сжатии.

На рисунке представлено влияние минералогического состава и условий твердения на прочность при сжатии прессованных образцов.

Из данных [4] следует, что с точки зрения прочности при сжатии образцов с Ц/П=1:3 оптимально содержание  $C_3A$  8–11% и  $C_4AF$  12–14%. Оптимальное содержание  $C_3S$  в таких составах и в чисто цементных системах в ранние сроки твердения (3 сут) находится в пределах 55–60%. В более поздние сроки соотношение минералогического состава и прочности рассматриваемых цементов меняется.

Данные [4] были подтверждены в 1970–2000 гг., поэтому современные быстротвердеющие цементы различных стран характеризуются таким минералогическим составом.

Так как структура и кинетика твердения прессованных образцов существенно отличаются от образцов пластического формования, полученные нами результаты не в полной мере совпадают с выводами [4]: оптимальное содержание  $C_3A$  значительно ниже и составляет 4–5,5%, а  $C_4AF$  – 12,5%. Как видно, оптимальное содержание  $C_3S$  в клинкерах цементов, использованных для образцов, изготовленных методом полусухого прессования, находится в тех же пределах, что и при пластическом формовании. Таким образом, оптимальное содержание  $C_3A$  в цементе для изготовления прессованных образцов более чем вдвое ниже, чем для образцов пластического формования.

Отсюда следует важный практический вывод о том, что в производстве бетонов с пониженным В/Ц необходимо использовать низкоалюминатные цементы.

Возможным объяснением этого явления могут служить известные данные о процессах гидратации в системе  $3CaO \cdot Al_2O_3 - CaSO_4 - H_2O$  [5], утверждающие, что при недостатке либо избытке гипса в цементах, особенно содержащих 7–15%  $C_3A$ , в первые 2–14 сут твердения наблю-

дается изменение фазового состава гидроалюминатов и гидросульфалюминатов кальция, что не только отрицательно влияет на марочную прочность и морозостойкость бетона, но может вызвать сбросы прочности. Чем выше В/Ц бетонной смеси, тем более выражены процессы релаксации собственных деформаций и напряжений в бетоне, поэтому отрицательное воздействие указанных явлений при повышении содержания  $C_3A$  в прессованных бетонах выражено более четко.

Известно, что в настоящее время стандарты: ГОСТ 17608–91 на плиты бетонные тротуарные, ГОСТ 6665–91 на камни бортовые бетонные и железобетонные, а также другие нормативные документы на элементы мощения дорог и тротуаров рекомендуют использование дорожных цементов нормированного состава, в которых допускается содержание  $C_3A$  до 8%. Полагаем, что последняя цифра является завышенной.

Исходя из экспериментальных данных допустимое содержание  $C_3A$  в цементах, применяемых для прессованных и вибропрессован-

ных бетонов, следует поддерживать на уровне 4–5%.

**Список литературы**

1. Рахимбаев Ш.М. Влияние фазового состава и пористости на прочность цементного камня // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Теоретические проблемы строительного материаловедения и эффективные стеновые материалы». Белгород. 1991. Ч.10. С. 9.
2. Ребиндер П.А., Сегалова Е.Е., Амелина Е.А. Физико-химические основы гидратационного твердения вяжущих веществ // Труды Междунар. конф. по химии цемента. М.: Стройиздат. 1976. Т. 2. Ч. 2. С. 58–63.
3. Теория цемента / Под ред. А.А. Пащенко. К.: Будівельник. 1991. 168 с.
4. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Влияние фазового состава портландцементных клинкеров на вяжущие свойства цементов // Труды НИИЦЕМЕНТ. Вып. 17. М.: Госстройиздат. 1967. С. 85–100.
5. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона. М.: Госстройиздат. 1961. 646 с.

А.Н. НОСОВ, руководитель технического отдела,  
А.Ю. ХАРЛАМОВ, руководитель отдела Бетон, ООО «Зика» (Москва)

## **Sika – ведущий производитель строительной химии**

Бетон в современном строительстве – это наиболее распространенный конструкционный строительный материал. В течение последних ста лет для строительства все большего числа сооружений как промышленного, так и гражданского назначения применяется бетон и железобетон. Данная статья посвящена материалам компании Sika, которые предназначены для производства качественного бетона и его ремонта.

В настоящее время компания Sika является одним из мировых лидеров по производству материалов строительной химии. Помимо материалов для производства, ремонта и защиты бетона компания производит следующие типы материалов:

- гидроизоляционные;
- материалы для устройства промышленных полов;
- жесткие и эластичные строительные клеи;
- герметики полиуретановые;
- кровельные материалы.

Современная технология производства бетонных смесей основана на широком применении органических и минеральных добавок различного назначения. Применение добавок в общем случае позволяет придать специальные свойства бетону, повысить его удобоукладываемость, при необходимости ускорить или замедлить сроки схватывания, широко применять индустриальные способы строительства и тем самым сократить его сроки и повысить экономическую эффективность.

**Воздухововлекающая добавка Sika-Aer®** используется для получения однородного и долговечного бетона, применяемого в дорожном, строительстве, для строительства взлетно-посадочных полос, открытых стоянок, дамб и резервуаров, мостовых сооружений из монолитного бетона. Добавка Sika-Aer® способствует образованию в бетоне большого количества равномерно распределенных замкнутых пор малого размера.

Преимущества добавки Sika-Aer®: увеличение морозостойкости бетона и его стойкости к солям; улучшение однородности; повышение долговечности и когезионной прочности; уменьшение расслаивания смеси. Важно отметить, что введение добавки не влияет на время схватывания даже при передозировке.

Средний расход добавки составляет 0,03–0,05% от массы цемента. Однако необходимо уточнять дозировку после определения количества вовлеченного воздуха в пробном замесе. Точная дозировка добавки зависит от типа и гранулометрического состава заполнителя, типа, количества и тонкости помола цемента, водоцементного отношения и температуры бетонной смеси.

**Добавка для улучшения перекачиваемости бетонных смесей Sika Pump®** – универсальная добавка для улучшения характеристик бетонной смеси, которая подается на место укладки бетононасосом. Ее рекомендуется применять в бетонных смесях низкой подвижности, с низким содержанием цемента и плохим подбором гранулометрического состава заполнителя, а также в сме-

сях с низким водоудержанием для предотвращения расслаивания смеси. Рекомендуемая дозировка Sika Pump® составляет 0,2–1% от массы цемента.

**Замедлитель схватывания для бетонов Sika Retarder®** применяется для конструкционного бетона там, где требуется бетонировать большие объемы, необходимо обеспечить продолжительное время доставки бетонной смеси к объекту, при бетонировании сложных конструкций, при высокой температуре окружающего воздуха. Применение Sika Retarder® позволяет контролировать время сохранения подвижности бетонной смеси.

Основой Sika Retarder® служат модифицированные фосфаты. Рекомендуемая дозировка 0,2–2%. Время замедления схватывания бетонной смеси прямо пропорционально количеству введенной добавки и также зависит от типа цемента, водоцементного отношения и температуры окружающего воздуха. Sika Retarder® совместим со всеми типами портландцемента, шлакопортландцемента. Для уточнения замедляющего эффекта рекомендуется делать лабораторные замесы.

Одна из последних разработок компании Sika – **суперпластификаторы** четвертого поколения на базе поликарбонксилатов **ViscoCrete® (Вискокрем)**. С помощью этих суперпластификаторов можно получить самоуплотняющийся бетон и высокопрочный бетон (до класса В80 включительно). В таблице приведены данные по испытанию суперпластификаторов ViscoCrete®, проведенные ЦНИИС. Из данных таблицы видно, что бетонная смесь с добавкой ViscoCrete®-3 имеет подвижность П5 (расплыв конуса 62 см). Полученная бетонная смесь не расслаивается и при этом обладает свойством самонивелирования. Высокая подвижность бетонной смеси может сохраняться до 4 ч без добавления замедлителей схватывания, однако это свойство сильно зависит от типа и количества цемента, а также от характеристик заполнителя.

Отметим положительное влияние суперпластификаторов серии ViscoCrete® на бетон: уменьшение количества воды затворения в бетонной смеси до 40% (по сравнению с бездобавочным составом) при увеличении подвижности бетонной смеси, что приводит к снижению

Свойство	Контрольный состав	Состав с ViscoCrete®-3
Количество суперпластификатора, % от массы цемента	0	0,7
Водоцементное отношение	0,4	0,4
Осадка конуса, см	3	26
Прочность при сжатии в возрасте 7 сут, МПа	42	53,4
Прочность при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	58,9	68,3

*Примечание.* Контрольный состав и состав с Sika Viscocrete® отличаются только наличием добавки суперпластификатора.





Ремонт коллектора составами Sika Repair®

пористости бетона, уменьшению его усадки. Рекомендуемая дозировка 0,4–1,5% от массы цемента.

Компания Sika производит добавки для цементно-песчаных растворов, увеличивающие водонепроницаемость растворных смесей. Они также могут применяться для получения водонепроницаемого бетона, но единственное ограничение – высокая стоимость такого бетона.

Для бетона с низким водоцементным отношением очень важной задачей является сохранение воды в теле конструкции. Компания Sika предлагает большое количество средств по уходу за бетоном, сохраняющих влагу в бетоне для гидратации цемента.

Отдельным направлением являются материалы для ремонта бетонных сооружений и конструкций. Материалы, применяемые для ремонта, должны обладать рядом свойств: быть безусадочными, обладать определенной эластичностью, так как они могут наноситься как на старый бетон, в котором завершились все усадочные явления, так и на молодой бетон. Адгезия ремонтных составов к бетону должна быть не ниже прочности при растяжении самого бетона. Такие составы также должны обладать высокой водостойкостью и быть просты и удобны в применении.

Для ремонта бетона компанией Sika разработаны **ремонтные составы Sika MonoTop® и Sika Repair®**, отвечающие всем вышеперечисленным требованиям.

Серия материалов Sika MonoTop® – это однокомпонентные составы на основе цемента, микрокремнезема, тщательно подобранного заполнителя, модифицированные полимерами, предназначены для восстановления объектов, подвергающихся атмосферному воздействию.

Sika MonoTop®-610 – состав для защиты арматуры от коррозии и создания адгезионного слоя.

Sika MonoTop®-612 и 614 – ремонтные составы для ремонта бетона, особенно потолочных и вертикальных поверхностей, также могут применяться для мокрого торкретирования.

Материалы отличаются между собой размером заполнителя и соответственно минимальной и максимально возможной толщиной нанесения за один раз.

Sika MonoTop®-620 – финишный ремонтный состав. Применяется как тонкослойное покрытие на горизонтальных и вертикальных бетонных поверхностях для их окончательного выравнивания.

Составы Sika Repair® – составы, аналогичные материалам серии Sika MonoTop®, но предназначенные для восстановления объектов, постоянно или периодически находящихся под водой или под землей. Система специально разработана для гидротехнических сооружений, заводов по очистке сточных вод и для бетона,



Дефект бетонной поверхности, нуждающийся в ремонте

подвергающегося сульфатной коррозии. В системе также выделяют составы для защиты арматуры от коррозии и создания адгезионного слоя (Sika Repair® 10), ремонтные растворы (Sika Repair® 13, Sika Repair® 20), и раствор для окончательного выравнивания (Sika Repair® 30).

Хотелось бы обратить внимание читателя на то, что разрушение поверхности бетона и, как следствие, ее ремонт свидетельствуют о необходимости не только восстановления бетона, но и его дополнительной защиты от воздействия различных агрессивных факторов. Компания Sika предлагает своим клиентам широкий выбор материалов для защиты бетона, но это тема требует отдельного рассмотрения.

# Sika

## Материалы строительной ХИМИИ

- добавки для бетонов;
- ремонт и защита бетона;
- гидроизоляционные материалы;
- материалы для устройства промышленных полов;
- жесткие и эластичные строительные клеи;
- герметики полиуретановые;
- кровельные материалы



**Зика Россия**

127006, Москва

ул. Малая Дмитровка, 16 корп. 6

Тел.: +7 495 771 74 88, +7 495 980 77 90

Факс: +7 495 771 74 80, +7 495 980 77 91

e-mail: info@ru.sika.com

www.sika.ru

А.Д. ШАРОВ, коммерческий директор группы компаний «Влакос-НН Паребрик» (Нижний Новгород)

## **Оригинальная технология производства высокопрочных бетонных изделий**

Создание группы компаний «Влакос-НН Паребрик» началось с появления 1997 г. компании «Влакос-НН», которая специализировалась на строительстве, ремонте, отделке малоэтажных зданий и сооружений и являлась дилером основных кирпичных заводов в Приволжском регионе. В связи с этим выявился большой дефицит качественных строительных и отделочных материалов и особенно материалов для интерьерного и ландшафтного дизайна.

Поэтому в 2001 г. было принято решение об открытии нового направления деятельности компании — производства тротуарной плитки для укладки ее на собственных строительных объектах. На основании анализа выяснили, что каждый вид технологии производства имеет недостатки. Технология вибропрессования не обеспечивала широкого ассортимента форм брусчатки (не более пяти видов), а также высокого качества получаемой продукции. Вибролитьевая технология позволяла выпускать гораздо более широкий ассортимент. Но готовая плитка получалась с большим количеством пор на поверхности, низкими физико-механическими характеристиками и минимальной цветовой палитрой.

В итоге с учетом стандартов по вибролитью и передовых технологий других производителей тротуарной плитки, а также при привлечении ученых в области современного бетоноведения удалось создать новую технологию производства архитектурных изделий из бетона. Возникла также необходимость создания новых форм для производства изделий, так как предлагаемые на рынке не выдерживали условий разработанной технологии. Было испытано более 20 видов пластика различной толщины и фактуры. Одни пластики вступали в реакцию с бетоном и вызывали обширные области залипания, другие требовали смазки, что отрицательно сказывалось на поверхности изделий, третьи трескались уже после 5–10 заливок. Наиболее подходящего качества показал автомобильный АБС-пластик, который обладал хорошей гибкостью, низкой адгезией к бетону.

Технологический процесс также был усовершенствован — от приготовления бетонной смеси, способа окрашивания смеси, заливки в формы до способа распалубки изделий. В рецептуре состава смеси песок был заменен на гранитный отсев, цемент используется исключительно марки 500, расход пигмента уменьшился в три раза. Сушка изделий в формах стала производиться в естественных условиях.

Разработанное оборудование включает вибростол и модернизированный бетономеситель, которые оптимальны для смеси с минимально низким водоцементным отношением, и могут долгое время работать без по-

стоянного технического обслуживания. Благодаря свойствам АБС-пластика удалось исключить процессы пропаривания, смазки и промывки форм, изготовления опалубки для форм, использование распалубочного стола, а также сократить время первоначального набора прочности изделий с 48 до 22 ч, что увеличило оборачиваемость форм в два раза.

В 2003 г. для производства изделий из бетона учреждена компания «Паребрик», которая совместно со специалистами Нижегородского архитектурно-строительного университета доработала и усовершенствовала технологический процесс, который получил название «Технология Сверхпрочного бетона». С 2006 г. группа компаний «Влакос-НН Паребрик» приобрела специальное оборудование, позволяющее изготавливать матрицы из металла любой сложности с любым рельефом поверхности для последующей формовки по ним пластиковых форм.

«Технология Сверхпрочного бетона» основана на принципиально новых решениях в области производства архитектурного бетона методом вибролитья. Применение нового формующего оборудования позволяет получать изделия с высокими физико-механическими характеристиками. Изделия характеризуются высокой плотностью и глянцевой поверхностью. Цветовая гамма отливаемых элементов может имитировать любой искусственный или природный материал от пластика до сложного узора малахита.

Различные эксплуатационные характеристики изделий получаются за счет варьирования различных видов сырьевых материалов (вяжущих и заполнителей), разновидностей, способа и стадии введения химических модификаторов и активных минеральных добавок, оптимизации состава многокомпонентного бетона и целенаправленного управления технологией.

### **Физико-механические характеристики получаемых изделий**

Класс прочности при сжатии	В40–В90
Марка по прочности	М600–М1200
Прочность в возрасте 24 ч	
естественного твердения, МПа, не менее	25–30
Марка по водонепроницаемости	W15
Марка по морозостойкости	F500
Истираемость, г/см <sup>2</sup> , не более	0,2–0,3
Водопоглощение, мас. %	0,5–1

В настоящее время группа компаний «Влакос-НН Паребрик» занимает одно из лидирующих положений в области оборудования и технологии для вибролитья. Оборудование компании работает не только в России, но и в различных странах Европы, Азии, в Америке, Африке и др.

**ООО «Паребрик»**

**630093 Н. Новгород, ул. Яблонева, д.25**

**Тел./факс: (8312) 34-88-48, 34-90-33,**

**Тел.: (920) 292-99-99, 292-44-44**

**parebrik@mail.ru    www.parebrik.ru**



О.К. БАЗОЕВ, канд. техн. наук, генеральный директор ООО НПП «Ирстройпрогресс»  
(г. Владикавказ, Республика Северная Осетия—Алания)

## Универсальные добавки нового поколения для получения высокопрочных бетонов

Строить быстро и с высоким качеством, применяя современные технологии и материалы, — только так можно справиться со стремительно растущими объемами строительства и постоянным повышением требований по надежности и долговечности зданий и сооружений.

Применение высокопрочных бетонов с повышенной удобоукладываемостью и ускоренным набором прочности позволяет решить большинство задач, стоящих перед строителями. Вопрос в том, как с минимальными затратами получить такие бетоны. Как правило, применение сочетания нескольких традиционных добавок узконаправленного действия не дает требуемых высоких результатов.

В последнее время на рынке добавок стали появляться высокоэффективные универсальные добавки многофункционального действия, применение которых позволяет значительно улучшить практически все основные характеристики бетонов.

К таким добавкам относятся и российские добавки нового поколения *Д-5* и *Д-11*, разработанные на научно-производственном предприятии «Ирстройпрогресс», промышленный выпуск которых освоен в 2006 г.

Обе добавки предназначены для получения высокопрочных быстротвердеющих бетонов с минимальным расходом цемента. Они улучшают структуру бетона, значительно уменьшают количество крупных пор и микротрещин, при этом несколько увеличивается количество замкнутых микропор, что повышает подвижность бетонной смеси и увеличивает морозостойкость бетона. Добавки *Д-5* и *Д-11* обладают высокими пластифицирующими и водоредуцирующими свойствами, поэтому для получения подвижных и перекачиваемых бетонных смесей не требуется дополнительного применения пластификаторов. Кроме того, добавки повышают однородность и связанность бетонных смесей и препятствуют их расслоению.

Применение добавок *Д-5* и *Д-11* позволяет получать 100% заданную прочность бетонов на 3-и—7-е сут твердения в естественных условиях и повышать прочность бетонов в возрасте 28 сут на 45–60% по сравнению с обычными бетонами без добавок. В монолитном строительстве это дает возможность в 2–3 раза сократить время выдерживания бетона в опалубке, снимать опалубку на следующий день после заливки бетона и загружать конструкцию полной расчетной нагрузкой практически сразу после распалубки. Таким образом, полностью устраняется необходимость в технологических перерывах, вызванных тем, что обычный бетон без добавок не успевает набрать требуемую прочность. Появляется возможность сократить сроки возведения мо-

нолитных зданий и сооружений в 1,5–2 раза без дополнительных капитальных вложений с тем же комплектом опалубки и оборудования.

На заводах сборного железобетона применение добавок *Д-5* и *Д-11* позволяет полностью исключить процесс тепловлажностной обработки изделий либо свести его к минимуму, снизив температуру в пропарочных камерах до 25–30°С и создав условия «термоса».

Воздействие добавок *Д-5* и *Д-11* на бетоны имеет и существенные различия. Добавка *Д-5* обладает более широким спектром действия и предназначена для применения в подземном и гидротехническом строительстве, т. е. в конструкциях, которые находятся под воздействием грунтовых вод или морской воды. Добавка *Д-5* придает бетону высокую водонепроницаемость (W14–W20) и сульфатостойкость, которые сохраняются на весь срок эксплуатации конструкций. Такие бетоны не нуждаются в дополнительной гидроизоляции, что является заметной экономией денежных средств и сокращает сроки строительства. Бетоны с добавкой *Д-5* приобретают уникальное свойство — самозалечивание трещин и незначительных дефектов. Практическое значение этого свойства заключается в том, что при перерывах в бетонировании холодные стыки не протекают, если соблюдать несложные рекомендации. При этом перерывы в бетонировании могут достигать от нескольких дней до нескольких недель и даже месяцев. Бетоны с этой добавкой следует применять при строительстве фундаментов ответственных зданий и сооружений, подземных сооружений гражданского и промышленного назначения, гидротехнических сооружений, тоннелей, мостов, шахт, очистных сооружений, плавательных бассейнов, резервуаров с питьевой водой, то есть везде, где требуются высокопрочные быстротвердеющие бетоны с высокой водонепроницаемостью и сульфатостойкостью.

Бетоны с добавкой *Д-11* предназначены для использования в надземных частях зданий и сооружений с целью сокращения сроков строительства, получения высокопрочных быстротвердеющих бетонов с минимальным расходом цемента.

Расход добавки *Д-5* составляет 3–4% от массы цемента, а добавки *Д-11* — 1,5–2% от массы цемента. Обе добавки не содержат хлора и других компонентов, опасных для цементного камня и арматуры. Бетоны и растворы с добавками *Д-5* и *Д-11* допущены к применению в конструкциях, контактирующих с питьевой водой.

Качество продукции тщательно контролируется. На предприятии внедрена и сертифицирована система менеджмента качества ИСО 9001/2000.



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

**ООО «ИРСТРОЙПРОГРЕСС»**



ИСО 9001  
Система менеджмента сертифицирована

362035, г. Владикавказ, ул. Московская, 4. Тел./факс: (8672) 517-374; 511-773,  
e-mail: [dobavka-beton@mail.ru](mailto:dobavka-beton@mail.ru), [www.irstroy.com](http://www.irstroy.com)

РЕКЛАМА

Е.А. МАКИШЕВА, ведущий инженер научно-технического центра  
ООО «Полипласт Новомосковск» (Тульская обл.)

## Добавки в бетон и строительные растворы компании «Полипласт»

Основой современного строительства в настоящее время и в обозримом будущем является бетон и изделия из него. Повышение качества строительства связано с улучшением свойств бетона, таких как прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, долговечность и др.

В настоящее время добавки-модификаторы, которые вводятся в небольших количествах, применяются в производстве различных типов бетонов, а также способствуют появлению и развитию новых типов, таких как высокопрочные, самоуплотняющиеся бетоны и т.п.

В группе суперпластификаторов *Полипласт* основными продуктами являются добавки *Полипласт СП-1* и *Полипласт СП-3*, которые представляет собой синтетические химические добавки на основе сульфокислот нафталина. По потребительским свойствам и технической эффективности эти продукты относятся к I группе пластифицирующих добавок. Преимуществом *Полипласт СП-3* является повышение сохраняемости бетонной смеси до 1,5 ч.

Для решения проблемы повышенного воздухоувлечения разработаны разновидности суперпластификаторов *Полипласт СП-1 ВП* и *Полипласт СП-3 ВП*. По своему действию они не отличаются от базовых продуктов, но снижают содержание воздуха в бетонной смеси до 1,8–2,2%, что соответствует содержанию воздуха в контрольном составе без добавок. Этот эффект особенно сильно проявляется в пластифицированных смесях.

Для ускорения набора прочности и повышения марочной прочности бетона разработана добавка *Реламикс*. Она обладает всеми положительными качествами суперпластификатора и, кроме того, позволяет увеличить скорость набора прочности бетона в ранние сроки твердения (3 сут), а также сократить время тепловой обработки бетона или вовсе отказаться от прогрева при достижении ранней распалубочной прочности.

Добавки серии *Динамикс* представляют собой суперпластификаторы с различными компонентами, повышающими сохраняемость бетонных и растворных смесей. Применение добавок *Динамикс* позволяет получить смеси, снижающие подвижность не более чем на одну марку в течение нормируемого срока – 1,5–2 ч и более. Эти добавки целесообразно применять в жаркое время года или при перевозке на большие расстояния.

Полифункциональный модификатор бетона *ПФМ-НЛК* представляет собой смесь суперпластификатора с воздухоувлекающим и гидрофобизирующим компонентами. Применение этой комплексной добавки позволяет получать при соответствующем подборе состава бетонной смеси и дозировке литые бетоны с повышенной влагонепроницаемостью, трещиностойкостью, морозостойкостью. Морозостойкость бетона с использованием *ПФМ-НЛК* может достигать 400 и более циклов.

Эта добавка применяется при изготовлении бетонов для сборных и монолитных железобетонных конструк-

ций различного назначения, а также для дорожных и аэродромных покрытий.

Для ведения строительных работ в зимнее время компания «Полипласт» выпускает комплексные добавки для бетонов и строительных растворов с противоморозным эффектом *Криопласт СП15-1*, *Криопласт СП15-2* и *Криопласт П25-1*. Применение этих добавок обеспечивает ведение бетонных работ при температуре –15––25°C, а также позволяет получить высокоподвижные бетонные смеси, которые можно транспортировать при отрицательной температуре до места укладки.

В 2006–2007 гг. компанией «Полипласт» освоен выпуск нескольких новых видов добавок.

Группа суперпластификаторов пополнилась добавкой *Полипласт СП-2ВУ*, важнейшим отличительным свойством которой является способность удерживать воду в бетонных и растворных смесях. Смеси сохраняют однородность и обеспечивают необходимую подвижность, а длительность доставки смеси на строительный объект даже в открытых емкостях не снижает ее качества. Проблему бетонирования тонкостенных, густоармированных конструкций помогает решить применение суперпластификатора *Полипласт СП СУБ*, предназначенного для самоуплотняющихся бетонов.

Новые ускорители набора прочности – добавки *Реламикс Н* и *Реламикс С*. Это комплексы с улучшенной формулой, которые отличаются невысокими дозировками в бетоне – 0,3–0,4% от массы цемента. *Реламикс С* позволяет получить гладкую поверхность, что особенно важно для изделий с повышенными требованиями к качеству поверхности.

Для продления сроков живучести бетонных смесей разработана добавка *Динамикс СП-180*. Подвижность бетонной смеси гарантированно сохраняется в течение трех часов, кроме того, интенсифицируется набор прочности бетона после его укладки в конструкции, а также отсутствует расслоение смеси.

Для производства высокопрочных бетонов создана добавка-модификатор *Полипласт-3 МБ*. Бетоны с этой добавкой имеют класс по прочности до В80 при применении цементов М500, отличаются пониженной проницаемостью, при этом бетонная смесь имеет высокую подвижность.

Для производства гипсовых изделий разработан новый суперпластификатор *Болопласт*. Кальциевая основа этой добавки обеспечивает прочное сцепление гипса с картоном, повышает прочность изделий и снижает их чувствительность к влажности окружающей среды.

Положение лидера обязывает компанию «Полипласт» постоянно искать новые решения, ориентироваться на требования потребителя. Главное достоинство выпускаемых продуктов – высокие и стабильные показатели качества.

ООО «Полипласт–УралСиб»

Тел./факс: (34392) 7-35-00, 7-35-01,  
7-35-02, 7-35-10, 7-35-19

ООО «Полипласт Новомосковск»

Тел.: (48762) 2-11-04, 2-11-40  
Факс: (48762) 2-11-52, 2-11-55

WWW.POLYPLAST-UN.RU

ООО «Полипласт Северо-Запад»

Тел./факс: (81375) 2-69-98,  
9-61-00, 9-61-01, 9-61-04

Реклама



**ПОЛИПЛАСТ**

*Поздравляем всех работников  
строительной отрасли  
с профессиональным праздником –  
ДНЕМ СТРОИТЕЛЯ!*

*Строить – значит жить. Вашими  
умелыми руками создаются города  
и села, возводятся храмы и заводы,  
строятся дороги и мосты. Желаем  
вам неиссякаемой творческой  
энергии, успешной реализации  
намеченных планов и, конечно,  
новых объектов, в каждом из  
которых – частичка вашего таланта  
и вашей души!*

Компания «ПОЛИПЛАСТ»

**ПОЗДРАВЛЯЕМ  
С ДНЕМ СТРОИТЕЛЯ!**



**ДОБАВКИ, пластификаторы для бетонов**

**ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:**  
алкидные, акриловые, полиуретановые

**КОЛЕРОВОЧНЫЕ ПАСТЫ на водной основе**

**ПИГМЕНТЫ:**  
органические, неорганические

**АКРИЛОВЫЕ эмульсии дисперсии**

ПРОМЫШЛЕННАЯ ГРУППА®  
**КРАТА**  
ПИГМЕНТ И ПФ ТЕХНОЛИМ

**ШИРОКИЙ АССОРТИМЕНТ  
ПРОДУКТОВ  
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

**СМОЛЫ:**  
карбамидоформальдегидные  
фенолформальдегидные

**ОАО "Пигмент"**  
392681, Россия, г.Тамбов, ул.Монтажников, 1  
(4752) 71-13-98, 72-11-51, т/ф: 71-46-67  
info@krata.ru  
<http://www.krata.ru>

Реклама

Т.М. ПЕТРОВА, д-р техн. наук, А.Ф. СЕРЕНКО, канд. техн. наук, Петербургский государственный университет путей сообщения;  
М.И. МИЛАЧЕВ, технолог,  
Д.М. МИЛАЧЕВ, директор ООО «ФОРТ» (г. Новозыбков Брянской обл.)

## Методы предупреждения ложного схватывания цементов

Применение пластифицирующих добавок и комплексов на их основе в последние десятилетия стало признанным фактором совершенствования технологии производства бетона, так как позволяет улучшить физико-механические свойства бетонов и бетонных смесей, направленно формировать структуру цементного камня и в ряде случаев снизить себестоимость производства.

На рынке России пока не получили широкого распространения пластификаторы на основе поликарбонилатов и акриловых сополимеров, и основными пластифицирующими добавками остаются лигносульфонаты и продукты конденсации сульфированного нафталина с формальдегидом (С-3, СП-1). Повышая удобоукладываемость, эти добавки одновременно замедляют наступление конца схватывания портландцемента, что является принципиально важным при монолитном бетонировании в летний период.

Вместе с тем в связи с рядом изменений технологии на большинстве цементных заводов в последнее время участились случаи ненормально быстрой потери подвижности бетонной смеси при использовании пластифицирующих добавок, особенно технических лигносульфонатов. В технологии бетона такое явление получило название «ложное схватывание», так как за ним следует длительный индукционный период без набора прочности. Ложное схватывание является нежелательным явлением, так как препятствует качественной укладке и уплотнению бетона.

Причиной ложного схватывания является воздействие компонентов добавки на скорость гидратации клинкерных минералов, прежде всего на трехкальциевый алюминат. На ранней стадии ускоряется образование этtringита, что и приводит к потере удобоукладываемости. После образования этtringита он адсорбирует компоненты добавки и тормозит гидратацию трехкальциевого алюмината вследствие замедления превращения этtringита в моносulфоалюминат кальция.

Были выполнены экспериментальные исследования влияния пластифицирующих добавок на кинетику набора пластической прочности цементного теста.

В качестве пластифицирующих компонентов применялись суперпластификатор СП-1 и лигносульфонат технический (ЛСТ). В качестве вяжущего применялся белгородский портландцемент марки ПЦ500Д0, относящийся к низкоалюминатным. Для уточнения воздействия пластифицирующих добавок на особенность твердения цементного теста при постоянном водоцементном отношении было исследовано влияние на кинетику набора пластической прочности добавок СП-1, ЛСТ и их комплекса.

Испытания проводились на коническом пластометре с интервалом погружения конуса 30 мин. В качестве критерия применялась величина предельного напряжения сдвига (пластической прочности).

Результаты испытаний влияния пластифицирующих добавок на длительность индукционного периода приведены на рис. 1.

Суперпластификатор СП-1 способствует удлинению индукционного периода твердения цемента, хотя на первой стадии отмечается незначительная потеря подвижности цементного теста. Введение добавки ЛСТ приводит к явному ложному схватыванию исследуемого цемента с последующим длительным индукционным периодом. Совместное введение добавок СП-1 и ЛСТ с водой затворения приводит к существенному усилению ложного схватывания, причем воздействие добавок СП-1 и ЛСТ носит синергетический характер, так как потеря подвижности цементного теста при воздействии комплекса значительно больше, чем суммарное воздействие добавок СП-1 и ЛСТ, введенных по отдельности.

Возникновение явления ложного схватывания связано как с составом портландцемента (минералогический состав, содержание щелочей, количество сульфатов), так и с составом добавок, прежде всего лигносульфонатов (молекулярная масса, содержание сахаров).

В строительной практике для предотвращения ложного схватывания и быстрой потери подвижности рекомендуется раздельное введение добавок, применение повторного перемешивания, повторное введение добавки, изменение ее концентрации, введение добавки со второй половиной воды затворения, использование других видов цемента. Проанализируем применимость этих мероприятий.

Раздельное введение добавок противоречит общей тенденции получения готовых комплексных добавок. Применение повторного перемешивания и повторное введение добавок усложняет технологию производства бетона и снижает производительность, а значит, повышает себестоимость, не гарантируя достижения заданной цели. Повышение концентрации добавок увеличи-

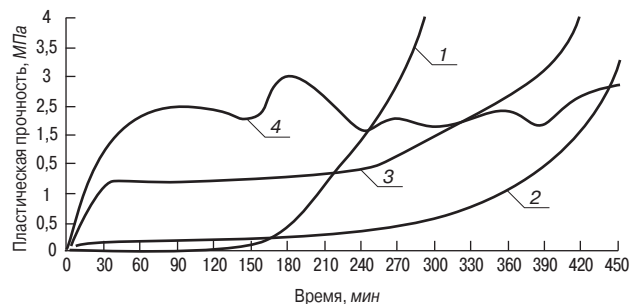


Рис. 1. Влияние добавок ЛСТ, СП-1 и их комплекса на длительность индукционного периода и раннюю потерю пластической прочности при постоянном водоцементном отношении: 1 – образец без добавок; 2 – добавка С-3 0,5%; 3 – добавка ЛСТ 0,2%; 4 – добавка С-3 0,5% и ЛСТ 0,2%

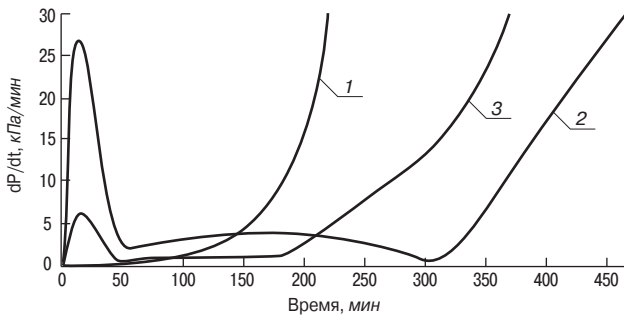


Рис. 2. Дифференциал кинетики набора пластической прочности цементного теста с добавками ЛСТ и Экспресспласт: 1 – образец без добавки; 2 – ЛСТ 0,2%; 3 – Экспресспласт 1%

вает эффект ложного схватывания, а снижение их концентрации уменьшает пластифицирующий эффект и делает бессмысленным применение комплекса. Введение добавки со второй половиной воды через несколько минут после затворения замедляет потерю подвижности, но недостаточно для нейтрализации исходного высокого эффекта ложного схватывания.

Следовательно, внедрение данного комплекса требует применения другого вяжущего.

Для проверки воздействия комплекса СП-1+ЛСТ на раннюю стадию гидратации портландцементов других производителей были выбраны еще пикалевский цемент ПЦ500Д0 и оскольский цемент ПЦ500Д0. Добавки СП-1 и ЛСТ растворялись совместно и вводились с водой затворения при дозировке 0,5 и 0,2% от массы цемента.

Как показали результаты испытаний, тенденция ранней потери подвижности при использовании комплекса СП-1+ЛСТ свойственна, хотя и в меньшей степени, пикалевскому и оскольскому цементам. Ложное схватывание под воздействием комплекса добавок на пикалевском портландцементе растянуто во времени до 1 ч и в несколько раз меньше, чем на белгородском цементе. В возрасте 1 ч пластическая прочность теста на пикалевском цементе в три раза меньше, чем на белгородском. При испытаниях установлено, что лежалые цементы при использовании пластифицирующих добавок в меньшей степени подверже-

ны ложному схватыванию, чем свежемолотые, что объясняется предгидратацией трехкальцевого алюмината, как и в случае введения комплекса со второй частью воды затворения.

Так как повлиять на состав портландцемента представляется затруднительным за исключением случая замены завода производителя, наиболее перспективным путем является модификация ЛСТ или создание комплекса, где наряду с лигносульфонатами вводятся компоненты, снижающие опасность ранней потери подвижности.

На основании исследований явления ложного схватывания в присутствии пластифицирующих добавок, изложенного выше, в Петербургском государственном университете путей сообщения совместно с ООО «ФОРТ» разработана комплексная добавка *Экспресспласт*, включающая кроме ЛСТ компоненты, в значительной степени нейтрализующие раннюю потерю подвижности бетонной смеси и снижение прочности бетона в раннем возрасте.

Анализ явления ложного схватывания требует разработки количественной оценки потери подвижности цементного теста в ранний период твердения. В качестве такого критерия предложена дифференциальная оценка величины пластической прочности, показывающая изменение пластической прочности в единицу времени ( $dP/dt$ ) и измеряемая в кПа/мин.

По результатам определения кинетики пластической прочности цементного теста на оскольском цементе ПЦ500Д0 в присутствии добавок ЛСТ и *Экспресспласт* при постоянном водоцементном отношении и одинаковом пластифицирующем действии добавок построен график дифференциала кинетики пластической прочности ( $dP/dt$ ) (рис. 2).

Высота первого пика на рис. 2 является показателем величины ложного схватывания цементного теста. Как следует из полученных графиков, при равной пластифицирующей способности предрасположенность к ложному схватыванию теста с добавкой ЛСТ в пять раз больше, чем при использовании добавки *Экспресспласт*. Перелом кривой вверх дает дополнительно достоверную информацию об окончании индукционного периода и начале формирования прочной структуры из гидросиликатов кальция.



## Мы производим новые свойства бетона!

ООО «ФОРТ» – производитель эффективных модификаторов многоцелевого назначения для бетонов и строительных растворов.

В ряду других производителей, в том числе зарубежных, добавки ООО «ФОРТ» выделяются сочетанием безопасности и технологичности применения с высокой эффективностью и доступной ценой.

**243020, г. Новозыбков Брянской обл., а/я 49**

**Тел./факс: (48343) 3-22-78, 3-24-17**

**E-mail: info@modifikator.ru www.modifikator.ru**



Р Е К Л А М А

С.И. ВЕРЯЕВ, директор ООО ИВП «КОМКОН» (г. Обнинск Калужской обл.)

## О реконструкции бетоносмесительных узлов

Увеличение объемов производства бетона и ужесточение требований к его качеству неразрывно связано с применением современного оборудования. В последнее время рынок этого оборудования необычайно насыщен и разнообразен.

Ситуация на отечественном рынке такова, что значительная часть нынешних производителей бетона — это предприятия, построенные по типовым проектам советских времен, работающие давно и на устаревшем оборудовании. Такие предприятия в первую очередь рассматривают возможность размещения нового оборудования на существующих площадях, максимально используя существующую инфраструктуру.

Как показала практика, в половине случаев состояние несущих конструкций, несмотря на большие сроки эксплуатации, удовлетворительное; они могут прослужить еще 15–30 лет. Мы предлагаем заказчику технологические схемы, максимально использующие потенциал существующих производств, а при выборе оборудования — оптимальный подбор при наилучшем соотношении цена—качество. Это надежные импортные бетоносмесители, исполнительные механизмы и пневматика (Италия, Германия, Япония). При этом компоновочные решения, дозаторное оборудование разрабатываются нами под конкретного заказчика. Подобным образом проведена модернизация производства на целом ряде московских заводов, принадлежащих ОАО «Главмосстрой», ОАО «ДСК-3», ОАО «ДСК-1» и т. д. В настоящее время выполнены или ведутся работы на предприятиях Калининграда, Екатеринбурга, Челябинска, Санкт-Петербурга, Калуги, Рязани. Если состояние конструкций неудовлетворительное и заниматься их восстановлением не имеет смысла, то мы можем предложить вариант нового БСУ. Примером такого проекта, выполненного совместно с ОАО «Проектный институт № 2» (Москва), является секция по производству товарного бетона на «Мосстроймеханизация-5» (Москва) мощностью 120 м<sup>3</sup>/ч.

Реализован ряд проектов быстровозводимых БСУ горизонтального типа модульной сборки производительностью 30–100 м<sup>3</sup>/ч, где каждый проект использует одинаковые модули, но при этом имеет свои особенности. Узлы подобного типа смонтированы и успешно эксплуатируются в Московской обл., п. Ольгинка Туапсинского района, Волгограде.

За 18 лет нами реализовано более 70 проектов автоматизации БСУ. Основная задача автоматизации бетоносмесительного узла — это точное соблюдение технологии приготовления бетонной смеси. Для этого нами разработана микропроцессорная система управления бетоносмесительным узлом **КОМКОН МС**, которая может выдерживать ударные нагрузки, вибрацию, запыленность и перепады температуры.

Разработанные алгоритмы управления обеспечивают оптимальную организацию процессов приготовления бетонно-растворных смесей. На видеомониторе в удобном для оператора виде отображается состояние всего оборудования. Система обеспечивает выполнение трех основных типов операций: прямого дистанционного управления оборудованием, полуавтоматических и автоматических операций. Для смены режима работы не требуется никаких специальных переключений, так как нет четкой границы между режимами работы и в общем случае разного типа операции можно выполнять параллельно.

В автоматическом режиме работы система выполняет заявки, каждая из которых содержит информацию о рецепте смеси, ее объеме, потребителе, сценарии подачи смеси и бетоносмеситель и прочих технологических аспектах процесса приготовления. Одновременно в системе может выполняться несколько заявок, и каждая из них выполняется в соответствии с назначенными ей технологическими нюансами. Выполнение заявки можно приостановить.

Одна из важных задач системы — контроль параметров технологического процесса, влияющих на качество бетонной смеси. К таким параметрам относятся: температура и влажность исходных материалов, температура и пластичность бетонной смеси. При отклонении данных параметров от номинального значения возможно гибкое изменение технологии приготовления бетонной смеси. Система позволяет осуществлять автоматическую коррекцию рецептуры при изменении влажности инертных заполнителей или запесоченности крупных заполнителей.

Результатом активной работы над совершенствованием технологии приготовления бетонной смеси стал патент на изобретение № 2249503, зарегистрированный в Государственном реестре изобретений РФ 10.04.2005 г. Для точного дозирования материалов разработаны специальные весы **КОМКОН МС**, которые зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений под № 27838.04.

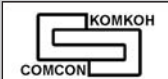


Пульт оператора ДСК-1 (Москва)



БСУ «Мосстроймеханизация-5» (Москва)

реклама



**ООО ИВП «КОМКОН»**  
249037, г. Обнинск, Калужская обл.  
Тел./факс: (495) 996-35-46, (4848 39) 6-41-50  
[www.comcon.obninstk.ru](http://www.comcon.obninstk.ru)

**ООО «Бетал БСУ»**  
111524, г. Москва, ул. Плеханова, д. 9, стр. 1  
Тел./факс (495) 672-73-11



И.А. ИВАНОВ, канд. хим. наук, генеральный директор, В.М. ЖМЫХОВ, канд. хим. наук, зав. сектором новых материалов, ООО КФ «ГОШ-лаборатория» (Курск)

## Оценка свойств синтетических пенообразователей для пенобетона

Одним из основных компонентов в производстве пенобетона является пенообразователь. Еще несколько лет назад перед потребителем не стоял вопрос, какой пенообразователь выбрать. На рынке было представлено всего два продукта. В настоящее время предлагается более 15 марок пенообразователей как отечественного, так и зарубежного производства.

Как показывает практика, для многих производителей пенобетона едва ли не единственным критерием оценки качества продукта является устойчивость чистой пены, полученной из водного раствора пенообразователя. Считается, что чем выше устойчивость пены и чем больше время синерезиса, тем лучше пенообразователь.

Насколько правомерен такой подход? Для этого рассмотрим, какие изменения происходят с пеной в течение нескольких минут, за которые пена превращается в пенобетон.

Первое, что происходит с пеной в процессе смешения ее с цементным тестом, это насыщение водной фазы солями натрия, кальция и других металлов. Известно, что соли поливалентных металлов оказывают негативное влияние на поведение поверхностно-активных веществ (ПАВ), снижая их пенообразующую способность и устойчивость получаемых пен.

На пенообразующую способность и устойчивость получаемых пен также негативно влияет изменение pH водной фазы. Если водный раствор пенообразователя, как правило, имеет нейтральный pH, то после контакта с цементным тестом pH водной фазы быстро становится щелочным [1–3].

Начинается сорбция поверхностно-активных веществ на твердой поверхности зерен цемента. Интенсивность этого процесса зависит от свойств конкретных ПАВ, входящих в состав пенообразователя. Вследствие этого граница раздела фаз жидкость-воздух неизбежно будет обедняться поверхностно-активными веществами. Это также влияет как на устойчивость, так и на несущую способность пены.

Разрушению пены в процессе приготовления пенобетонной смеси способствует ее постоянное перемешивание.

Очевидно, что уже через 1–2 минуты после смешения пены с цементным тестом получаемая пенная субстанция существенно отличается от пены, которая была получена в пеногенераторе.

Так чем же руководствоваться при оценке качества пенообразователя?

На наш взгляд, полезной может стать модель «черного ящика» с известными входными и выходными параметрами и неизвестным внутренним устройством. Входные параметры — это свойства цемента, наполнителя, пенообразователя, заданное соотношение цемент : наполнитель : вода : пена, концентрация пенообразующего раствора. Выходные параметры — это пенобетон с качественными показателями, соответствующими ГОСТу, техническим условиям или заданными производителем. Внутреннее устройство черного ящика — это лабораторная или полупромышленная мо-

дель, которая имитирует протекание вышеперечисленных процессов при получении пенобетона, то есть модель технологии, по которой предполагается получать пенобетон в промышленных объемах.

Проведенный анализ технологий производства пенобетона, реализованных в промышленном масштабе, показал, что по способам приготовления пенобетонной массы все технологии можно разделить на три основные группы.

*Первая группа* объединяет технологии, использующие пеногенерирующие устройства. Общим для этой группы является то, что из относительно концентрированного 1–3%-ного раствора пенообразователя в чистой воде получают пену кратностью 15–25, которую сразу же смешивают с отдельно приготовленным цементным тестом. Смешение происходит в аппаратах с низкооборотной мешалкой в течение 3–5 минут.

*Ко второй группе* можно отнести способы получения пенобетона в установках с предварительным получением пены за счет высокоинтенсивного механического перемешивания. Для процессов этой группы характерно получение пены из разбавленных растворов пенообразователя с рабочей концентрацией 0,25–0,4%. Вода, в которую добавляют пенообразователь, как правило, загрязнена остатками цемента от предыдущего замеса. Пену получают невысокой кратности (4–7). Кратность пены определяется объемом аппарата, то есть вспенивание продолжают до тех пор, пока пена не достигнет горловины аппарата. В полученную пену вводят цемент, наполнители, другие добавки и вновь в течение нескольких минут перемешивают высокооборотной мешалкой до получения однородной массы.

*В третью группу* входят процессы одностадийного получения пенобетона на высокооборотных миксерах турбулентного или кавитационного типа. Общим для этих процессов является то, что вода, цемент, наполнитель и пенообразователь смешиваются в одной емкости с помощью высокооборотной мешалки и за счет интенсивного воздухововлечения превращаются в пенобетонную смесь заданной плотности.

Таким образом, для всестороннего изучения пенообразователя необходимы минимум три модели — для каждого из описанных способов получения пенобетона.

Если принять за доминирующий выходной параметр плотность пенобетона и поставить задачу получить пенобетон минимальной плотности с заданным количеством пенообразователя, то получим следующие результаты (см. табл.).

Для проведения эксперимента использовался цемент марки ПЦ500Д0 (г. Старый Оскол) и песок речной мытый с модулем крупности  $M_{кр} = 1–1,2$ . Водоцементное соотношение выдерживалось на уровне 0,6. Низкооборотное перемешивание осуществлялось механической мешалкой с частотой вращения 120 об/мин, высокооборотное — 1440 об/мин. Вода для приготовления раствора пенообразователя для моделей 1–3 готовилась по ГОСТ 23732–79; для модели 2 была искусственно загрязнена фиксированным количеством цемента.

	Пионер-Баро	Пионер-ПГ	Пионер-Турбо	Морпен	Пено-стром	ПБ-2000	ПБ-Люкс
Модель 1							
Кратность пены	10,6	10,3	10,3	10,4	10	10,5	10,4
Плотность пенобетонной массы после низкооборотного смешения пены с цементным тестом в течение 3 мин, кг/м <sup>3</sup>	480	440	450	453	637	451	444
Плотность пенобетонной массы после дополнительного высокооборотного перемешивания в течение 60 сек, кг/м <sup>3</sup>	701	624	667	626	1112	675	668
Повышение плотности пенобетонной массы в процессе высокооборотного перемешивания, кг/м <sup>3</sup> – под чертой, % – над чертой	$\frac{221}{46}$	$\frac{184}{41,8}$	$\frac{217}{48,2}$	$\frac{173}{38,2}$	$\frac{475}{74,6}$	$\frac{224}{49,7}$	$\frac{224}{50,4}$
Модель 2							
Плотность пенобетонной массы после низкооборотного смешения пены с цементным тестом в течение 3 мин, кг/м <sup>3</sup>	270	338	360	1000	1021	445	651
Плотность пенобетонной массы после дополнительного высокооборотного перемешивания в течение 60 сек, кг/м <sup>3</sup>	452	494	520	935	1111	609	656
Изменение плотности пенобетонной массы в процессе высокооборотного перемешивания, кг/м <sup>3</sup> – под чертой, % – над чертой	$\frac{182}{67,4}$	$\frac{156}{46,1}$	$\frac{160}{44,4}$	$\frac{-65}{-6,5}$	$\frac{90}{8,8}$	$\frac{164}{36,8}$	$\frac{5}{0,8}$
Модель 3							
Плотность пенобетонной массы сразу после приготовления, кг/м <sup>3</sup>	461	440	398	444	742	431	481

Концентрация пенообразователя в пенообразующем растворе в модели 1 – 1%, в модели 2 – 0,4%, в модели 3 – 0,83% (в пересчете на воду затворения).

Были испытаны пенообразователи: Пионер-ПГ (пенообразователь для установок с пеногенератором); Пионер-Баро (пенообразователь для процессов сухой минерализации), Пионер-Турбо (пенообразователь для установок турбулентного (кавитационного) типа); Морпен (пенообразователь для пожаротушения); ПБ-Люкс (заявлен производителем как пенообразователь для всех технологий получения пенобетона); ПБ-2000 и Пеностром (область применения пенообразователей в технической документации не оговорена).

Для модели 1 наиболее эффективными оказались пенообразователи Пионер-ПГ и Морпен. Пенобетонная смесь получилась наиболее устойчивой к интенсивному механическому перемешиванию. Это значит, что если пенобетонную смесь будут перевозить или перекачивать насосами на большие расстояния, то пенообразователи Пионер-ПГ и Морпен обеспечат минимальное уплотнение смеси, полученной в аппарате смешения.

Если пенобетон будет использован сразу после приготовления, то с той же эффективностью можно применять пенообразователи ПБ-2000, ПБ-Люкс и Пионер-Турбо. Как следует из таблицы, все пять упомянутых пенообразователей в этих условиях позволяют получить пенобетонную массу практически одной и той же плотности 440–455 кг/м<sup>3</sup>.

Испытания пенообразователей на модели 2 выявили очевидное преимущество пенообразователя Пионер-Баро, специально разработанного для данного процесса. Этот пенообразователь прекрасно пенится в воде, загрязненной цементом. Рабочий объем установки заполняется пеной всего за 30 с. Очень низкая плотность пенобетонной массы (270 кг/м<sup>3</sup>) демонстрирует высокую устойчивость пены в процессе смешения ее с сухими компонентами.

В аналогичных условиях пенообразователи ПБ-2000 и ПБ-Люкс пенятся хуже. Время заполнения рабочего объема установки пеной составляет 100 и 80 с соответственно. Пена обладает более низкой устойчивостью при контакте с сухими компонентами – песком и цементом (см. табл.).

В модели 3 лучший результат получен с пенообразователем Пионер-Турбо (плотность пенобетонной мас-

сы 398 кг/м<sup>3</sup>), худший – с пенообразователем Пеностром. Остальные пенообразователи проявили себя примерно одинаково.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

При моделировании процессов образования пенобетонной смеси пенообразователи проявляют как сильные, так и слабые свойства, привязанные к той или иной технологии получения пенобетона. Снижается вероятность приобретения пенообразователя, не подходящего для использования в конкретной технологии. Красноречивой иллюстрацией сказанному является судьба пенообразователя Пеностром. В свое время он пользовался большой и заслуженной популярностью, но за прошедшие несколько лет в технологии производства пенобетона произошли большие изменения, рабочая концентрация пенообразователя с каждым годом становится все ниже и ниже. Производители стремятся к выпуску пенобетона меньшей плотности. И наступил момент, когда возможности пенообразователя Пеностром оказались просто исчерпанными.

В данной статье для демонстрации возможностей предложенного метода была поставлена задача получения максимально легкого пенобетона при фиксированном расходе пенообразователя. Однако этот метод позволяет оценить пригодность пенообразователей и по другим критериям. Например, ответить на вопрос, с каким пенообразователем можно получить наиболее прочный пенобетон, или оценить, какое количество того или иного пенообразователя потребуется, чтобы произвести пенобетон заданной плотности.

При постановке эксперимента следует помнить, что чем ближе используемая модель к реальным условиям производства, тем точнее можно оценить пригодность для выбранной технологии того или иного пенообразователя.

#### Список литературы

1. Штюпель Г. Синтетические моющие и очищающие средства. М.: Госхимиздат. 1966. 672 с.
2. Волков В.А. Поверхностно-активные вещества в моющих средствах и усилителях химической чистки. М.: Легпромбытиздат. 1985. 200 с.
3. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества. Синтез, свойства, анализ, применение. С-Пб: Профессия. 2004. 239 с.

Заложите достойный фундамент своего бизнеса

# ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕНОБЕТОНА «Пионер»

от фирмы «ГОШ-лаборатория»

«Пионер-Био» (белковый)  
- D400, 16 кг/см<sup>2</sup>  
«Пионер-Экстра» (синтетический)  
- D400, 16 кг/см<sup>2</sup>  
и другие

Россия, 305023, г. Курск, 2-й Шоссейный пер., 21-Г  
Тел./факс: (4712) 32-54-35, 36-37-50, 36-37-55  
E-mail: goshlab@kursknet.ru  
<http://gosh.k46.ru>

РЕКЛАМА



## СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Лицензия Госстандарта РФ на изготовление средств измерений №000110-ИР  
Приборы сертифицированы, имеют энергонезависимую память, режим связи с ПК.

### ☉ ПОС-30(50)МГ4 «Отрыв»



Измерители прочности бетона методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690.  
Диапазон.....5...100 МПа  
Максимальное усилие вырыва анкера:  
ПОС-30МГ4.....29,4 кН (3000 кгс)  
ПОС-50МГ4.....49,0 кН (5000 кгс)

### ☉ ПСО-МГ4



Измерители прочности сцепления защитных и облицовочных покрытий с основанием по ГОСТ 28089, ГОСТ 28574, а также усилия вырыва анкерных болтов и тарельчатых дюбелей.  
Максимальное усилие отрыва:  
ПСО-2,5МГ4.....2,45 кН (250 кгс)  
ПСО-5МГ4.....4,9 кН (500 кгс)  
ПСО-10МГ4.....9,80 кН (1000 кгс)

### ☉ Влагомер-МГ4У



Измеритель влажности древесины, бетона, сыпучих по ГОСТ 16588 и ГОСТ 21718.  
Может комплектоваться зондовым преобразователем.  
Диапазон измерения влажности .....1...60%

### ☉ ИПА-МГ4



Измеритель защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры железобетонных конструкций магнитным методом по ГОСТ 22904.  
Диапазон измерения  
Защитного слоя.....3...150 мм  
При диаметре стержней.....3...40 мм

Измерители теплопроводности, плотности тепловых потоков, параметров вибрации, влажности стройматериалов. Термометры, гигрометры, анемометры, пирометры, толщинометры, твердомеры, дефектоскопы, лазерные дальнометры.

тел./факс в Челябинске: (351) 790-16-85, 790-16-13  
796-64-13, 796-64-14  
в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58

454084, г. Челябинск, ул. Калинина 11-г, а/я 8538  
E-mail: stroypribor@chel.surnet.ru <http://www.stroypribor.ru>

### ☉ ПГМ-100 / ПГМ-500 / ПГМ-1000

Прессы испытательные гидравлические малогабаритные на 100, 500 и 1000 кН. Оборудованы электрическим приводом (сеть 220 В, 50 Гц) и тензометрическим силоизмерителем. Диапазон нагрузок 1...100 / 5...500 / 10...1000 кН



### ☉ ИПС-МГ4.03

Измеритель прочности бетона, раствора методом ударного импульса по ГОСТ 22690. Расширенный режим измерений с возможностью выбора вида заполнителя, возраста и условий твердения бетона.  
Диапазон измерения прочности.....3...100 Мпа



### ☉ ПОС-50МГ4 «Скол»

Измерители прочности бетона методами скалывания ребра и отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690.  
Диапазон:  
методом скалывания ребра.....10...70 МПа  
методом отрыва со скалыванием.....5...100 МПа



### ☉ ПОС-2МГ4П

Измеритель прочности ячеистых бетонов методом вырыва спирального анкера.  
Предусмотрена возможность корректировки результатов испытаний в зависимости от влажности бетона.  
Диапазон.....0,5...8 МПа



### ☉ ИТП-МГ4 «100/250»

Измерители теплопроводности и термического сопротивления материалов при стационарном режиме по ГОСТ 7076 и методом теплового зонда по ГОСТ 30256.  
Диапазон.....0,02...1,5 Вт/м·К



РЕКЛАМА

## Отечественные добавки для самоуплотняющегося бетона на основе поликарбоксилатов ХИДЕТАЛ-ГП-9

В 2006 г. специалистами компании «СКТ-Стандарт» была разработана комплексная добавка для бетонов на основе поликарбоксилатов ХИДЕТАЛ-ГП-9. В марте 2007 г. НИИЖБ провел сертификационные испытания и согласовал ТУ на добавку ХИДЕТАЛ-ГП-9 марок  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно для сборного железобетона и товарного бетона. Результаты испытаний приведены в предыдущей публикации [1].

При разработке указанных добавок специалисты «СКТ-Стандарт» руководствовались следующим:

- в настоящее время существенно выросла потребность в производстве самоуплотняющегося бетона;
- рост производства товарного бетона требует гарантированно сохранения подвижности бетонной смеси при транспортировке к месту укладки более трех часов;
- высокие требования к качеству строительства обуславливают необходимость качественного улучшения структуры бетонной смеси;
- в России и СНГ до 2006 г. отсутствовало производство данного класса добавок на основе поликарбоксилатов, именуемых за рубежом гиперпластификаторами. Такие добавки приходилось импортировать.

В табличной форме представлена краткая история создания добавок для бетонов.

Данные таблицы показывают, что добавки ХИДЕТАЛ-ГП-9 производства компании «СКТ-Стандарт» являются добавками самого последнего поколения, из разработанных в мире.

Химическая основа добавки	Время создания	Поколение	Снижение водопотребности, до %
Лигносальфонаты	30-е гг. XX века	1	10
Глюконаты	40-е гг. XX века	2	10
Нафталины (С-3)	70-е гг. XX века	3	20
Меламины	80-е гг. XX века	4	20
Полиакрилаты	90-е гг. XX века	5	30
Поликарбоксилаты	С 2000 г.	6	40

Какова эффективность применения поликарбоксилатных добавок ХИДЕТАЛ-ГП-9?

В аргументации использованы данные испытаний компании «СКТ-Стандарт», НИИЖБ и заводов – производителей бетонов.

1. Добавки на основе поликарбоксилатов ХИДЕТАЛ-ГП-9 являются суперпластификаторами с максимальной подвижностью 27 см и расплывом конуса до 67 см, соответствуют требованиям DIN EN 934-2. Согласно нормативному требованию для бетонной смеси с пластификатором расплыв конуса должен повышаться на 16 см и более по сравнению с контрольным. Добавка ХИДЕТАЛ-ГП-9 обеспечивает повышение расплыва конуса от 24 до 32 см по сравнению с контрольным.

Это позволяет изготавливать с помощью ХИДЕТАЛ-ГП-9 самоуплотняющийся бетон в условиях насыщения конструкции арматурой и фактически без применения вибраторов.

2. Добавка ХИДЕТАЛ-ГП-9 обеспечивает сохранение заданной подвижности бетонной смеси до 3 часов и с потерей подвижности 10% до 4 часов транспортировки. Подливать воду в бетоновоз, как это часто делается, не нужно. Это особенно актуально при пе-

ревозке бетона в условиях крупных городов и на дальние расстояния. Для сравнения, бездобавочная бетонная смесь сохраняет подвижность максимум 40–50 минут.

Эти свойства позволяют широко использовать добавку ХИДЕТАЛ-ГП-9 для производства бетонной смеси для монолитного домостроения: сделать качественную смесь на заводе, доставить ее без ухудшения свойств на объект и закачать насосами на требуемую высоту, произвести его укладку фактически без вибрации.

3. Бетон с добавкой ХИДЕТАЛ-ГП-9 при любом варианте проектирования бетона имеет водонепроницаемость не менее W16 (обычный бетон W6) и морозостойкость не менее F300 (обычный бетон F100), что характеризует повышенную долговечность бетона и соответственно всего здания. При этом не требуется дополнительных мер по гидроизоляции бетона.

Применение поликарбоксилатов в составе ХИДЕТАЛ-ГП-9 обеспечивает снижение средней крупности пор в бетонах, снижение открытой интегральной пористости и повышение плотности. Именно этим объясняется повышение водонепроницаемости и морозостойкости – важнейших показателей долговечности бетонов.

4. Применение добавки ХИДЕТАЛ-ГП-9  $\alpha$  и  $\beta$  позволяет снизить В/Ц с 0,52 до 0,3, а расход цемента – на 25%. Простой расчет показывает, что из пяти вагонов по 55 т можно сэкономить целый вагон!

5. При производстве железобетонных изделий с ТВО применение добавки ХИДЕТАЛ-ГП-9  $\alpha$  позволяет обеспечить 80% прочности от проектной по сокращенному циклу 1,5+1,5+4+2 при температуре не выше 60°C.

Через 28 суток можно при определенных подборках бетонной смеси получить проектную прочность на 30%, или на четыре марки выше марки контрольного состава. Например, был получен бетон контрольного состава с прочностью 45,5 МПа, а с добавками ХИДЕТАЛ-ГП-9  $\alpha$  и  $\beta$  его прочность составила 60,1 МПа.

6. Набор прочности бетона с добавкой ХИДЕТАЛ-ГП-9  $\alpha$  и  $\beta$  без ТВО при неизменном В/Ц аналогична контрольному бетону; при снижении В/Ц через трое суток можно получить бетон с добавкой ХИДЕТАЛ-ГП-9  $\alpha$  со 100% прочностью от проектной, с ХИДЕТАЛ-ГП-9  $\beta$  – с 80–90% прочностью от проектной.

7. Применение добавки ХИДЕТАЛ-ГП-9 позволяет избежать коррозии арматуры, так как плотность тока при потенциале +300 mV не превышает 1,5 мкА/см<sup>2</sup>. Для сравнения, при применении других добавок плотность тока составляет не менее 2 мкА/см<sup>2</sup> при нормированном значении 10 мкА/см<sup>2</sup>. Добавка не снижает стойкости арматуры против коррозионного растрескивания.

8. При применении добавок ХИДЕТАЛ-ГП-9 полностью отсутствует растворо- и водоотделение бетонных смесей: Пр = 3,8 при норме не более 4, Пв = 0 при норме не более 0,8. В настоящее время ни одна добавка не позволяет получить таких показателей.

Приведенные данные показывают, что добавки ХИДЕТАЛ-ГП-9 позволяют решать широкий круг задач при проектировании и производстве как товарного бетона, так и бетонных смесей для выпуска железобетонных изделий различного назначения.

Цена добавок ХИДЕТАЛ-ГП-9 – 45000 р./т с НДС.

### Литература

1. Добавки для бетона компании «СКТ-стандарт»: экономия ресурсов, повышение качества бетона // Строит. материалы. 2007. № 4. С. 24–25.

**ООО «Управляющая компания «Группа предприятий «СКТ-Стандарт»**

Телефоны: в России (905) 766-87-25, (48343) 3-32-83,  
в Республике Беларусь (+375-232) 52-90-39, (+375-232) 51-81-23.  
E-mail: skt-standart@yandex.ru www.skt-standart.ru



## Компания "ВНИИР"

Компания "ВНИИР" поставляет оборудование для промышленных лабораторий различного профиля:



Строительные лаборатории  
Дорожно-строительные лаборатории  
Мостостроительные лаборатории  
Лаборатории неразрушающего качества  
Материаловедческие и металлографические лаборатории  
Лаборатории механических, температурных и климатических испытаний  
Спектральные и химические лаборатории  
Оборудование для механических испытаний

Твердомеры  
Оборудование для климатических испытаний  
Оборудование для температурных испытаний  
Приборы для испытания цементов, бетонных смесей  
Приборы для испытаний бетонных и железобетонных конструкций



Испытание лакокрасочных материалов  
Весовое оборудование  
Приборы неразрушающего контроля качества  
Приборы для измерения температуры и влажности  
Геодезическое оборудование  
Приборы для испытания грунтов  
Приборы для испытания битумов

Приборы для испытания битумов  
Приборы для испытания заполнителей  
Приборы для испытания асфальтобетона  
Приборы для контроля параметров автомобильных и железных дорог  
Оборудование для выбуривания кернов



Комплексные передвижные лаборатории



Отдел продаж: тел./факс +7 (495) 735-6531, 437-9800, 430-0428, 437-2274  
Отдел сервиса и метрологического сопровождения: тел./факс +7 (495) 437-5110  
Адрес: 119361 г. Москва, ул. Озерная, д.44  
Internet: www.vniir.ru E-mail: vniir@aha.ru  
Режим работы: с 9:30 до 18:00, выходные - сб, вскр.  
Условия работы: 100% предоплата, отгрузка со склада в Москве.

СТРОИТЕЛЬНОЕ ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

# LINGL

Be wise - LINGLize.

## ВАША КОМАНДА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ



Согласитесь, необычная картина. Но ничего необыкновенного для команд по техническому обслуживанию клиентов, которые используют в производстве наши установки LINGL. Компания LINGL постоянно работает над тем, чтобы оптимизировать удобство обслуживания машин и установок\*. Помимо постоянного усовершенствования нашей продукции сюда также относятся и удобная для пользователя техническая документация, и квалифицированные работники сервисной службы, которые помогут Вам словом и делом. И то, что эти достижения позитивно скажутся на Вашем оборудовании и производственных расходах, Вы слышите, конечно же, не в первый раз. Поэтому представьте Вашей команде по техническому обслуживанию больше свободного времени – вместе с установками компании LINGL.

\* Согласно опросу, проведенному центром Management Zentrum St. Gallen в мае 2005 года, для установок компании LINGL необходим самый легкий уход в

Представительство фирмы «LINGL»  
в России и странах СНГ  
196 247, Россия, г. Санкт Петербург  
Леннинский проспект, дом 160 офис 303  
тел/факс +7 812 703 4199  
моб. тел. +7 911 812 2237  
e-mail: lingl.russia@gmail.com

Реклама

Реклама

А.Н. БОБРЫШЕВ, д-р техн. наук, Камская государственная технико-экономическая академия (г. Набережные Челны, Республика Татарстан); Р.В. КОЗОМАЗОВ, Д.В. КОЗОМАЗОВ, инженеры, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (г. Саранск, Республика Мордовия); В.М. АКСЕНОВ, руководитель ГУП 7 ОАО «Росжелдорстрой» (г. Елец Липецкой обл.)

## Информационно-вычислительный комплекс «Композит» для подбора составов и прогнозирования свойств композитных материалов

В современном строительстве широко распространены композитные материалы (КМ) – бетоны, полимербетоны, эмали, полимеррастворы и др. Поэтому весьма актуально получение КМ с требуемыми физико-механическими свойствами. Решение данной задачи в значительной степени связано с применением при исследовании КМ современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента, реализацией эффективных численных методов и алгоритмов в виде проблемно-ориентированных программ для оптимизации составов КМ и прогнозирования их эксплуатационных свойств [1].

Состав КМ представляет собой сложную иерархическую систему, формирующуюся в результате физико-химических взаимодействий между структурными компонентами. Для прогнозирования этих взаимодействий необходимо знать свойства каждого компонента КМ, сведения о которых часто находятся в различных источниках [2, 3]. Следовательно, необходимо создание общей базы данных компонентов КМ с описанием их свойств и разработка информационно-вычислительного комплекса для подбора составов КМ и их оптимизации.

Перед построением иерархической (подчиненной) структуры предлагается провести условное разбиение компонентов КМ на два класса: класс вяжущих и класс, включающий остальные компоненты. Такое разделение позволяет представлять вяжущие компоненты в виде более сложной иерархической структуры,

включающей пять уровней. Класс наполнителей, заполнителей, химических добавок имеет четырехуровневую структуру.

Классы можно рассматривать как первый уровень созданной структуры. В зависимости от характеристики, полученной на этом уровне, компонент описывается с помощью шести- или четырехуровневой структуры.

На рис. 1 показана иерархическая структура базы данных. Первый и два последних уровня – общие для обоих классов. Если принять содержащуюся на каждом уровне информацию как характеристику компонента КМ, то отдельную значимость приобретает пятый (или третий для второго класса) уровень. На этом уровне хранятся сами компоненты – их названия и описание.

Таким образом все уровни за исключением пятого содержат характеристики компонентов, позволяющие правильно их классифицировать и определить возможное применение на практике. Количество уровней позволяет оптимально задать зависимость характеристик компонентов, основываясь на современных взглядах и тенденциях в материаловедении.

Например, если классифицировать компонент, относящийся по функциональному назначению к вяжущим, то вначале определяется соответствующая группа: цементные, органические, магниезольные и др. (второй уровень иерархической структуры). Далее определяется его природа твердения, соответствующая выбранной группе, например гидравлические (третий

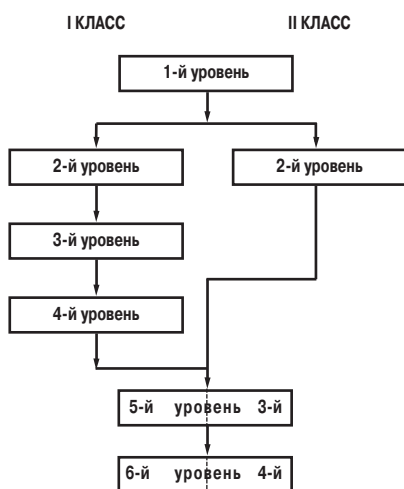


Рис. 1. Иерархическая структура базы данных

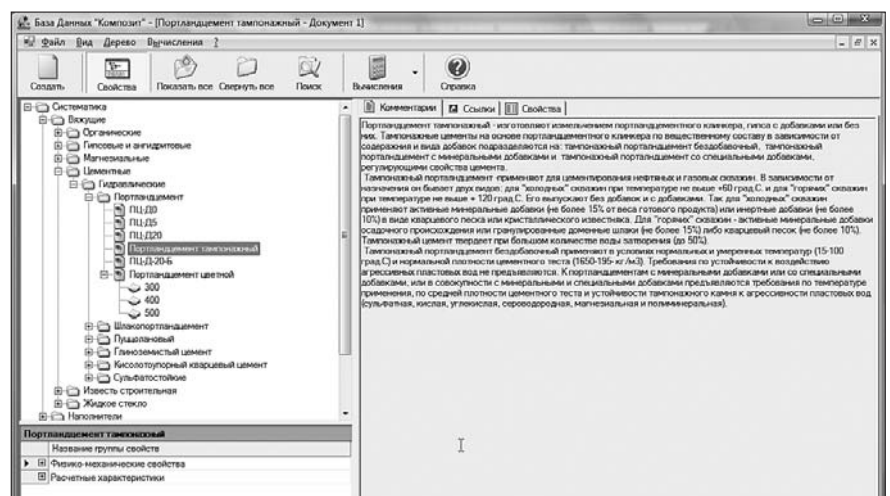


Рис. 2. Графический интерфейс базы

Свойства	
Название	Описание
Основные свойства	Физико-механические и химические свойства компонентов содержат: <i>значение, максимум и минимум</i>
Проектные свойства	Как правило, ожидаемые, проектные свойства составов содержат: <i>значение, максимум и минимум</i>
Влияние на свойства КМ	Описывают влияние компонента на свойства КМ при вводе его в состав
Расчетные характеристики	Используются для определения степени участия компонента при проведении расчетов

уровень иерархической структуры). Выбранной природе твердения соответствуют различные виды вяжущих – сульфатостойкие, портландцемент, пуццолановые и др. (четвертый уровень иерархической структуры). К каждому виду могут относиться определенные марки компонентов, например для портландцемента – портландцемент цветной, тампонажный и др. (пятый уровень иерархической структуры). Если существуют разновидности этого компонента, то они указываются на дополнительном детализирующем шестом уровне, например цветной портландцемент выпускается марок по прочности 300, 400 и 500. Особенностью использования разновидностей является наследование ими свойств компонента, но с возможностью переопределения.

Аналогично осуществляется классификация компонентов, входящих по своему функциональному назначению во второй класс. Каждому функциональному назначению компонентов второго класса соответствует своя систематика, например для заполнителей есть деление на органические, осадочные, магматические, искусственные и ряд других.

Каждый компонент обладает рядом свойств, показанных в таблице и разделенных на группы по смысловому значению.

Характеристика, полученная компонентом на каждом уровне, содержит подробное описание, а в базе данных реализована система перекрестных ссылок. На практике это выражается в возможности перехода от любой характеристики, компонента или свойства к логически связанным с ним объектам. Например, может существовать связь между видом вяжущего и его расчетными характеристиками.

Для упрощения работы с базой данных создан графический интерфейс и программы проведения разнообразных расчетов по моделируемым строительным материалам, составляющие информационно-вычислительный комплекс (ИВК) «Композит».

При помощи ИВК «Композит» есть возможность просматривать содержимое базы данных «Компоненты композитных материалов и их свойства», производить поиск и отбор интересующих компонентов, просматривать их свойства и комментарии, использовать систему ссылок, а также отдельно работать со справочником свойств.

При использовании встроенных модулей проведения расчетов можно добавлять интересующие компоненты в моделируемые композиты, учитывая оказываемое ими влияние на свойства, подбирать требуемые составы с заданными характеристиками.

ИВК «Композит» реализован в среде Microsoft Visual Studio 2003, написан на языке C# и представля-

ет собой программный продукт, состоящий из базы данных, хранящей информацию о большинстве известных на данный момент строительных материалов и программы, реализующей интерфейс пользователя и представляющей собой комплекс взаимосвязанных компонентов.

Этот программный продукт может применяться в строительных организациях в качестве эффективного справочного инструмента, на производстве и в строительстве при проектировании новых составов композиционных материалов из наиболее доступного в данной местности сырья, а также в учебном процессе при изучении дисциплин, связанных со строительными материалами.

В частности, внедрение ИВК «Композит» в ОАО «Росжелдорстрой» позволило за счет автоматизации значительно сократить время подбора состава бетона и его корректировки на строительной площадке при реконструкции кирпичного завода ОАО «Керамик» в г. Ельце Липецкой области.

На указанном строительном объекте требовался бетон различных марок и свойств, который необходимо было приготовить на строительной площадке. Расчет составов усложнялся тем, что одни и те же компоненты, доставляемые на строительную площадку, обладали в разные дни различными свойствами. Например, песок из другой местности, который имел различную влажность, цемент разных марок и т. д. Состав бетона подбирался с помощью модуля «Подбор состава обычного тяжелого бетона», реализованного в виде мастера, объединяющего ряд шагов, которые обычно проходит инженер при подборе состава бетона, и позволяющего по введенным пользователем данным прогнозировать характеристики получившейся бетонной смеси. Для расчета состава бетона необходимо выбрать соответствующий вид бетона, задать требуемое значение прочности, способ уплотнения смеси, а также выбрать компоненты для проектируемого бетона из базы данных.

После подбора состава с помощью модуля «Прогнозирование эксплуатационных характеристик материала» можно определить прочность, подвижность, водопоглощение и другие свойства, а затем произвести корректировку состава с целью достижения желаемых характеристик.

Также ИВК «Композит» внедрен в Липецком государственном техническом университете и используется при преподавании дисциплин «Системы автоматизированного проектирования», «САПР в строительстве», «Автоматизированные базы данных» и «Основы автоматизированного проектирования».

Программно-вычислительный комплекс «Композит», включающий базу данных компонентов композитных материалов и интегрированные модули подбора составов бетонов и прогнозирования эксплуатационных значений характеристик КМ, позволяет упростить и ускорить проектирование новых материалов для строительства и машиностроения.

#### Список литературы

1. Бобрышев А.Н., Козомазов Р.В., Туманова И.Н. Топологические особенности кинетических процессов в твердых компонентных системах // Конденсированные среды и межфазные границы. 2003. Т. 5. № 2. С. 150–154.
2. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Авдеев Р.И., Соломатов В.И. Синергетика дисперсно-наполненных композитов. М.: ЦКТ. 1999. 252 с.
3. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Авдеев Р.И. Синергетика. Физика и микромеханика дисперсно-наполненных композитов. М.: Наука. 2003. 284 с.

И.В. ГЛАЗКОВА, инженер, А.А. ПЕТРОВ, студент, С.В. МЯГКОВ, канд. хим. наук, Московский государственный университет пищевых производств

## Деактивация бетонных поверхностей хелатирующими реагентами

Загрязнение кирпичных, асфальтовых и бетонных поверхностей радиоактивными элементами представляет серьезную проблему для мирового сообщества. Актуальность деактивации существующих зданий и строений без их разрушения неуклонно возрастает. Предлагается ряд методов обработки загрязненных поверхностей с целью снижения степени загрязнения, в том числе с использованием водных растворов химических реагентов [1–3].

Механическое снятие металлическим абразивом поверхности бетона толщиной 1,6 мм позволяет добиться за один проход фактора очистки 0,5. При повторном проходе – 0,3. При этом в области трещин и особенно горячих пятен снять активность не удастся [4–6]. Дополнительно возникает проблема, связанная с пылеулавливанием мелкой фракции.

Были проведены исследования возможности удаления радиоактивных изотопов с поверхности бетона с использованием водных растворов хелатирующих реагентов (хелантов)\* в электрокинетическом режиме (под воздействием градиента электрического поля) [7].

При проведении экспериментов необходимо было установить воздействие водных растворов хелатирующих реагентов на поверхность бетона, влияние возможного разрушения поверхности на эффективность удаления загрязнений.

В качестве хелатирующих реагентов были выбраны четыре наиболее распространенных хеланта, промышленный выпуск которых колеблется от нескольких сотен килограммов до нескольких десятков тонн, что позволяет использовать их при деактивации крупномасштабных объектов. При этом намеренно производилась выборка разноплановых соединений, чтобы сканировать широкий спектр хелантов.

Для проведения экспериментов были использованы:

- этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА,  $\text{H}_4\text{edta}$ ); она плохо растворима в воде, но ее динатриевая соль (Трилон Б) хорошо растворима. Будучи взята в избытке по отношению к любому катиону металла (М), ЭДТА образует в нейтральной среде высокоустойчивые, хорошо растворимые комплексные соединения с большинством катионов металлов состава  $(\text{Medta})^{n-}$ , например  $[\text{Ca}(\text{edta})]^{2-}$ ,  $[\text{Am}(\text{edta})]^{1-}$ ,  $[\text{Co}(\text{edta})]^{1-}$ ,  $[\text{UO}_2\text{edta}]^{2-}$ ; ЭДТА и образуемые ею комплексы слабо адсорбируются почвой и, по-видимому, бетоном;

- лимонная кислота ( $\text{H}_3\text{cit}$ ) является многоосновной гидроксикислотой; комплексные соединения лимонной кислоты при соотношении металл:лиганд 1:1 хорошо растворимы в воде, но при избытке катиона растворимость резко уменьшается;

- нитрилотриметиленфосфоновая кислота (НТФ,  $\text{H}_6\text{nthp}$ ) особенно эффективна при комплексировании в высокощелочной среде; при этом в избытке лиганда образуются устойчивые высоко растворимые комплексы с большим отрицательным электростатическим зарядом; НТФ и образуемые этим хелантом комплексы прекрасно адсорбируются поч-

вой и, возможно, также хорошо адсорбируются поверхностью бетона.

Для оценки воздействия водного раствора хеланта на поверхность бетона было определено количество ионов кальция, переходящих в водный раствор в присутствии хелатирующих реагентов, и изменение массы бетона за счет убыли или привеса при контакте с водными растворами хелантов.

Водные растворы Трилона Б, лимонной кислоты и НТФ марки ХЧ при  $\text{pH} = 12,5$  имели концентрацию 0,1 М.

В качестве модели нами были взяты образцы бетона:

1. М300 – смесь бетона БСТ В25 П4 F200 W6. Расходные материалы: цемент –  $400 \text{ кг/м}^3$ ; песок  $M_{\text{кр}} = 1,8–2,4 – 490 \text{ кг/м}^3$ ; щебень фр. 5–20 мм –  $840 \text{ кг/м}^3$ ; вода –  $190 \text{ л/м}^3$ ; суперпластификатор С-3 –  $5 \text{ л/м}^3$ .
2. М400 – смесь бетона БСТ В30 П3 F300 W8. Расходные материалы: цемент –  $430 \text{ кг/м}^3$ ; песок  $M_{\text{кр}} = 1,8–2,8 – 750 \text{ кг/м}^3$ ; щебень фр. 5–20 мм –  $1065 \text{ кг/м}^3$ ; вода –  $160 \text{ л/м}^3$ ; суперпластификатор С-3 –  $2,5 \text{ л/м}^3$ .

Образцы бетона поступили в виде крупного боя.

В лаборатории они подвергались дальнейшему измельчению с целью удаления чистой фракции, перетирались в агатовой ступке и просеивались сквозь сито с диаметром отверстий 1 мм. Полученный полидисперсный воздушно-сухой загрязненный порошок использовался для дальнейших исследований.

Навески порошка бетона массой 3 г смешивали с 20 мл раствора хеланта, регистрировали изменение  $\text{pH}$  раствора во времени и выдерживали в закрытом бюксе в контакте с раствором хеланта в течение 7 сут при комнатной температуре. Далее жидкую фазу отделяли и анализировали на содержание ионов кальция методом индуктивно-связанной плазмы (ICP). В качестве холостого опыта использовали экстракцию дистиллированной водой.

Для определения степени разрушения бетона под воздействием растворов хелантов образцы бетонной крошки навеской 1–1,5 г предварительно высушивались, заливались растворами хелантов (20 мл) и выдерживались в течение 17–19 сут под крышкой, после чего жидкость сливалась и осадки высушивались. По разнице массы навесок бетона до и после взаимодействия определялась убыль (привес) под воздействием хелантов. Эксперимент проведен в трех повторностях, подщелачивание производили раствором 0,5 М NaOH. Результаты исследований приведены в таблице.

Установлено, что несмотря на то что все хеланты активно взаимодействуют с поверхностью бетона, наибольшее количество кальция из матрицы бетона вымывается НТФ. При этом в водной фазе накапливаются ионы кальция и железа.

Из таблицы видно, что существенным оказалось и травление Трилоном Б. При взаимодействии этого хеланта основным является образование хорошо растворимых комплексов с основными структурообразующими ингредиентами цементного камня – кальцием, алюминием и железом. При этом вторичной сорбции образованных Трилоном Б комплексов не

\* Хелатирующие реагенты – лиганды (чаще органические соединения), образующие хелатные циклы с металлами. Хелатные циклы, или хелаты (от греч. *chele* – клешня), координационные соединения, в которых центральный атом (или ион) связан одновременно с двумя или более донорными атомами лиганда.



Реагент	Содержание ионов кальция в водном растворе (атомно-адсорбционный, Perkin Elmer-603), ммоль/л	Привес (+)/убыль (-) массы порошка бетона после контакта с водными растворами (гравиметрический метод), %
Вода дистиллированная	5,25	-1,5
Трилон Б	47,2	-20,2
Лимонная кислота	52,3	+3,2
НТФ	56,3	+8,8

происходит. Лимонная кислота, напротив, не уменьшает, а увеличивает массу бетона. Вместе с тем, часть полученных комплексов легко сорбируется, образуя на поверхности биядерные плохо растворимые комплексные соединения  $Ca_3(cit)_2 \cdot nH_2O$ . Таким образом, масса бетона, переходящая в раствор, оказывается меньше массы сорбируемых соединений. НТФ также увеличивает массу бетона.

На основании проведенных экспериментов выбор травителя был сделан в пользу Трилона Б, так как в остальных случаях можно было ожидать закупоривание загрязнителя хелантом в порах при электрокинетической обработке.

Параллельно был измерен дзета-потенциал бетона в воде, удовлетворительно согласующийся с литературными данными [8], и в присутствии хелантов. Показано, что он изменяет свой знак под воздействием хелатирующего реагента с положительного на отрицательный. При этом Трилон Б обеспечивает потенциал порядка -2 мВ, а НТФ и цитрат калия 20 мВ. Это косвенным образом свидетельствует, что наряду с экстракцией катионов из матрицы бетона наблюдается также и адсорбция хелантов или образуемых ими отрицательно заряженных комплексных соединений.

В результате проведенных исследований по воздействию водных растворов хелатирующих соединений на бетон было определено, что частичное удаление цементного камня в присутствии хелатирующих соединений позволяет производить утилизацию загрязненных поверхностей без деструкции с возможностью повторного использования материалов, в том числе изделий из бетона.

Авторы выражают благодарность д-ру хим. наук К.И. Попову и канд. техн. наук А.Д. Дикун за помощь при проведении экспериментов.

**Список литературы**

1. *Зимон А.Д., Пикалов В.К.* Дезактивация. М.: ИЗДАТ. 1994. 336 с.
2. *Collins E.D., Box W.D. et al.* Analysis of data from leaching concrete samples taken from the Three Mile Island unit 2 reactor building basement // Nuclear Technology. 1989. 87. P. 786–796.
3. *Булатов В.И.* Россия радиоактивная. Новосибирск: ЦЭРИС. 1996. 267 с.
4. *Takano F.* Radioactive decontamination method of concrete scraps. Patent JP 2003 149388 A2 20030521. 2003.
5. *Amred R.* Process and apparatus for the mechanical decontamination of walls and concrete structures. Eur. Patent Appl. EP 1231610 A2 20020814. 2002.
6. *Devgun J.S., Land R.R., Doane R.W.* Demonstration experience with an abrasive blasting technique for decontaminating concrete pads. Waste Management'90 (Tucson, Arizona) Vol.2. P. 489-495.
7. *Попов К.И., Глазкова И.В. и др.* Удаление цезия с пористой поверхности электрокинетическим методом в присутствии хелатирующего агента // Коллоидная химия. 2006. Т. 68. 6. С. 815–820.
8. *Баженев Ю.М.* Технология бетона. М.: Высшая школа. 1987. 415 с.




## ООО «Будиндустрия ЛТД»

**Научно-производственное предприятие осуществляет:**

**производство и реализацию комплексных химических и минеральных добавок системы «Релаксол»**

**Добавки обеспечивают:**

- ◆ снижение водосодержания на 25–30%;
- ◆ регулируемое повышение удобоукладываемости с П1 до П5;
- ◆ сохранность подвижности до 3 часов;
- ◆ снижение расхода цемента на 100–150 кг;
- ◆ быстрый набор ранней прочности;
- ◆ технологичность бетонных работ в зимнее и летнее время;
- ◆ рост марочной прочности;
- ◆ рост показателей долговечности и стойкости бетона, в том числе морозостойкости, водонепроницаемости.

---

**ООО «Будиндустрия ЛТД»**  
69057 г. Запорожье, Украина,  
пр. Ленина, 158, оф. 223,  
тел./факс: +380 61 224-66-21, 224-67-74  
220-04-85, 289-14-95  
E-mail: m\_bi@a-teleport.com

**Представительство в России:**  
ООО НПЦ «ПолиРелакС»,  
г. Москва,  
тел./факс: +7 495 980-78-38  
980-78-39  
E-mail: polirelaks@rambler.ru



## Сибирская строительная неделя – 2007



22–25 мая 2007 г. в Омске прошла выставка «Сибирская строительная неделя». В ней приняли участие более 250 предприятий и фирм из 25 регионов России, которые представили современные строительные материалы, технологии и оборудование. Организатором выставки традиционно выступил МВЦ «Интерсиб», ее проведение поддерживали Союз строителей России, Правительство Омской области, Администрация города Омска, генеральным спонсором выступило ООО «Гласспром».

Архитектурно-строительная отрасль стала одной из ведущих в Сибирском федеральном округе, Омская область занимает ведущие позиции по темпам роста строительства. В 2007 г. для осуществления строительства, реконструкции и модернизации объектов ЖКХ из областного бюджета предполагается выделить 165,7 млн р., планируется ввести в эксплуатацию 1,1 млн м<sup>2</sup> жилья, в том числе 320 тыс. м<sup>2</sup> индивидуальными застройщиками.

Для эффективного решения этих задач необходимо внедрение современных строительных материалов и новых технологий строительства. С этой целью в Омской области принята «Программа развития строительной индустрии в муниципальных районах до 2010 г.». В производство стройматериалов и создание строительных компаний в районах области из всех источников финансирования будет инвестировано около 1,5 млрд р. Одной из задач программы является создание таких условий, чтобы каждый район мог самостоятельно выполнять программу строительства жилья, то есть создать полный домостроительный цикл. До 2010 г. предстоит запустить 49 новых предприятий строительной индустрии, а 79 действующих – модернизировать.

Кустовыми центрами, в которых разместятся крупные производственные мощности отрасли, станут областные города Калачинск, Тара, Исилькуль.

Успешная реализация намеченных планов невозможна без специализированных выставок. Именно они являются мощным рычагом развития и создания конкурентной среды. В Омской области ведущим выставочным мероприятием в области строительства и ЖКХ уже многие годы является Сибирская строительная неделя, которая на протяжении 12 лет каждой весной открывает строительный сезон. Интерес к этому мероприятию из года в год стабильно держится на высоком уровне, что подтверждается как количеством, так и широкой географией участников и посетителей выставки.

Экспозиция Сибирской строительной недели–2007 объединила четыре отраслевых раздела: «Стройпрогресс», «ЖКХ – стандарты будущего», «Древстройэкспо», «Дороги. Мосты».

Генеральный спонсор выставки ООО «Гласспром» – предприятие молодое и первое в Омске такого профиля. Оно начало свою работу в ноябре 2006 г. и в настоящее время выпускает широкий ассортимент закаленного стек-

ла и высококачественных стеклопакетов. На предприятии установлена линия порошковой окраски алюминиевого профиля и изделий из алюминия и стали. Это дает возможность оформлять входные группы и фасадные элементы зданий в любой цветовой гамме.

Малоэтажное строительство в Омской области уже на протяжении 45 лет успешно ведет НП «Омскагрострой» – многопрофильная строительная компания, осуществляющая полный цикл услуг по проектированию, производству и строительству деревянных малоэтажных домов, коттеджных поселков. В настоящее время реализуется инвестиционный проект строительства предприятия, которое будет производить до 300 каркасно-панельных домов. Предполагается, что дома будут поставляться с 80% заводской готовностью и монтироваться на готовый фундамент в течение одного месяца.

В рамках выставки состоялась презентация продукции нового омского производственного предприятия ООО «Комбинат пористых материалов» – ячеисто-бетонных блоков торговой марки Вармит. На предприятии устанавливается производственная линия немецкой фирмы Wehrhahn мощностью 120 тыс. м<sup>3</sup> в год.

ООО «Техстрой» производит сухие строительные смеси общестроительного и специального назначения для работы как в нормальных, так и в суровых климатических условиях, при больших нагрузках и в агрессивной среде под торговой маркой СМиК. Это плиточные клеи, штукатурные и шпатлевочные составы, стяжки для пола и др., а также добавки для бетонов – ускоритель набора прочности СКВ, расширяющаяся добавка РД, специальная добавка для штукатурных растворов ШД.

Дружно выступили на выставке производственные предприятия Челябинской области. Среди них известный производитель легких сборных металлоконструкций, кровельных и фасадных материалов ЗАО «ИНСИ», а также входящее в группу предприятия «ИНСИ» ЗАО «Завод автоклавного газобетона», которое в ближайшее время начнет производство ячеисто-бетонных блоков на оборудовании Wehrhahn под торговой маркой ИНСИ-блок.

АО «Уральский градостроительный комбинат» (Копейский кирпичный завод) представил на выставке 16 видов керамического кирпича собственного производства. Среди них



Выставку «Сибирская строительная неделя–2007» открывают зам. министра строительства и жилищно-коммунального комплекса Омской области Ю.М. Ерехинский (справа) и президент Союза строителей Омской области Н.И. Лицкевич



Специалисты ООО «Оптимум-газобетон» (Омск) демонстрировали на открытой площадке возможности обработки газобетонных блоков



ООО «Пенопласт-Урал» (Омск) производит пенополистирол торговой марки «Стиропен» различных марок, а также более 30 видов потолочных плит и другие изделия из пенополистирола

знаменитый «велюровый» кирпич для облицовки фасадов и отделки интерьеров.

ООО «Олмая-Южный Урал» является разработчиком и производителем оборудования для изготовления домов из оцилиндрованного бревна. Станки серии «Терем» выпускались в России с 2004 г., однако с мая 2006 г. производство станков перенесено в Китай на российско-китайское предприятие Hong Tai Chuko. Завод сертифицирован по стандарту ISO9001, качество выпускаемой продукции соответствует европейским стандартам.

Молодое динамично развивающееся предприятие ООО «Лесопромышленная компания «Тайга» из Томска с 2002 г. занимается глубокой переработкой древесины на импортном оборудовании. Из сосны и лиственницы выпускается клееный брус для оконных и дверных блоков, мебельный и столярный щит, подоконные доски, лестничные ступени, широкий ассортимент погонажных изделий.

ЗАО «Народное Предприятие «Сухоложскасбоцемент» (г. Сухой Лог Свердловской обл.) отмечает в 2007 г. 70-летие. В настоящее время оно входит в пятерку крупнейших предприятий асбестоцементной промышленности России. Кроме традиционной продукции – листов асбестоцементных волнистых и кровельных, труб различного диаметра на выставке бы-

ли представлены система вентилируемых бесчердачных кровель и фасадов типа «Урал». В системе «Урал» уклон кровли 1:10, поэтому не требуется устройство чердака и значительно снижаются затраты на монтаж. Простую и дешевую систему «Урал» можно использовать как для ремонта существующих кровель и стен зданий, так и для нового строительства.

Широко (более 20 фирм) были представлены различные фасадные системы: ООО «Дедал» (Омск), ГК «Классик» (Самара), ООО «Первоуральское предприятие строительных материалов», ООО «СЕГАЛ ЛПЗ» (Красноярск) и др.

В рамках деловой программы Сибирской строительной недели – 2007 были проведены конференции, совещания семинары.

Строительная отрасль Омской области, как и в России в целом, находится на подъеме. Значимость выставок Сибирская строительная неделя для Омска и Омской области с каждым годом возрастает. Представленная на этой выставке продукция способна удовлетворить потребности строительной отрасли при реализации НП «Доступное и комфортное жилье – гражданам России».

*И.П. Рублевский, канд. техн. наук,  
А.Б. Юмашев, инженер*

## Семинар «Новое оборудование в кирпичной промышленности. Опыт использования и технологические возможности установки «Каскад 13»

23–24 мая 2007 г. в г. Омске состоялся семинар «Новое оборудование в кирпичной промышленности. Опыт использования и технологические возможности установки «Каскад 13», который был организован Институтом Новых Технологий и Автоматизации промышленности строительных материалов (ООО «ИНТА-СТРОЙ», Омск). На нем присутствовали около 20 руководителей и специалистов кирпичных заводов из различных регионов России. Участникам семинара была продемонстрирована опытно-промышленная установка «Каскад 13» производительностью по глине 25 т/ч. Демонстрация установки была организована в условиях действующего Нововаршавского кирпичного завода (Омская область). Процесс переработки глины на установке «Каскад 13» вызвал искренний интерес аудитории и сопровождался многочисленными разноплановыми вопросами – по устройству установки, о способах воздействия элементов установки на глину, изменению свойств переработанной на установке глины, износа рабочих частей и пр.

Все участники семинара сошлись во мнении, что установка работоспособна, соответствует своему назначению и имеет перспективы применения не только в кирпичной промышленности, но и в тех производствах, где необходима качественная гомогенизация конечного продукта.

Также специалисты высказали замечание о недостаточной продолжительности работы установки «на отказ» – небольшое время работы не позволило сделать заключение о надежности установки в целом и величине износа рабочих органов установки.

По просьбе некоторых участников семинара привезенные ими образцы глины были переработаны на лабораторной установке «Каскад 1». Переработанные глины будут параллельно исследованы в лаборатории института и лаборатории предприятия – участника семинара. Полученные независимо друг от друга результаты будут проанализированы и разосланы участникам семинара.

Участники семинара посетили исследовательскую лабораторию и опытно-промышленную базу института, где были ознакомлены с последними новациями в технологии и оборудовании для производства пенобетона, пеноконцентрата и керамического кирпича.

Все присутствующие отметили, что подобные мероприятия способствуют ускорению внедрения новой техники в производство и выразили благодарность организаторам семинара: генеральному директору ООО «ИНТА-СТРОЙ» И.Ф. Шлегелю, директору Нововаршавского кирпичного завода А.В. Яшкину и заместителю директора завода В.А. Плотникову.



Переработанная на установке «Каскад 13» глина поступает в приемный бункер пресса



Для демонстрации работы на производстве «Каскад 13» был установлен в действующую линию Нововаршавского кирпичного завода



Участники семинара «Новое оборудование в кирпичной промышленности. Опыт использования и технологические возможности установки «Каскад 13»

## КОЛЛЕГИ

**К 80-летию П.Г. Комохова**

Редакция и редакционный совет поздравляют с 80-летием академика РААСН, доктора технических наук, профессора кафедры строительных материалов и технологий Петербургского государственного университета путей сообщения (ЛИИЖТ), заслуженного деятеля науки РФ **Павла Григорьевича Комохова**.

П.Г. Комохов родился 6 июля 1927 г. В 1952 г. Павел Григорьевич закончил строительный факультет Ленинградского института путей сообщения. В 1978 г. он защитил докторскую диссертацию. Основными направлениями научной деятельности Павла Григорьевича стали: разработка и внедрение технологии производства высокопрочного силикатного бетона, оптимизация режимов и видов тепловлажностной обработки бетона, физико-химические основы структурообразования бетонов ускоренного твердения, механика разрушения и долговечность бетона, разработка технологий защитного бетон-консерванта для захоронения радиоактивных отходов. П.Г. Комохов является автором более 400 научных работ и 30 авторских свидетельств на изобретения и патенты.

Заслуги П.Г. Комохова высоко оценены правительством. Он награжден орденом «Дружбы народов», семью медалями, среди которых «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», знаками «Почетный железнодорожник» и «Почетный строитель».

Павел Григорьевич и в настоящее время продолжает вести большую научную и общественную работу. Он возглавляет диссертационный совет, является вице-президентом Российского научно-технического общества строителей.

*Редакция и редакционный совет журнала, коллеги желают Павлу Григорьевичу Комохову крепкого здоровья, неиссякаемой энергии и дальнейших творческих успехов.*

## НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**Итоги и перспективы предприятий «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» в Поволжье**

В 2006 г. рост производства цемента на ОАО «Жигулевские стройматериалы» составил 40% к уровню 2005 г., в 2007 г. намечено увеличение производства цемента более чем на 20%. В 2007 г. объем инвестиций в техническое перевооружение завода по отношению к 2006 г. возрастет в 3,6 раза и достигнет 248 млн р. В качестве приоритетных направлений выбраны развитие карьеров, энергосбережение и защита окружающей среды. На проекты по охране окружающей среды в текущем году будет направлено около 92 млн р., что превышает прошлогодний объем инвестиций в это направление в 3,6 раза. Планируется реконструкция электрофильтров вращающихся печей, замена электрофильтров цементных мельниц и ряд других природоохранных проектов.

В прошедшем году ОАО «Ульяновскцемент» увеличил производственную мощность более чем на 32% к уровню 2005 г. и выпустил более 1,5 млн т цемента.

В рамках инвестиционной программы на модернизацию и техническое перевооружение завода в 2007 г. будет израсходовано более 421 млн р., что в 7,6 раза больше, чем в предыдущем году. Расходы завода на защиту окружающей среды возрастут почти в 7 раз — с 18,7 млн р. в 2006 г. до 128 млн р. в 2007 г. В настоящее время уже осуществляется установка современных электрофильтров на две вращающиеся печи, заканчиваются работы по строительству газопровода и начато строительство нового карьера.

По материалам  
ОАО «ЕВРОЦЕМЕНТ групп»

**«Сибирский цемент» увеличил производство**

По итогам первого полугодия 2007 г. «Сибирский цемент» увеличил производство на 33,2% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

ООО «Топкинский цемент» (г. Топки, Кемеровская обл.) произвело более 1,3 млн т цемента (за шесть месяцев 2006 г. — 1 млн т цемента). Красноярский цементный завод (Красноярск) произвел более 436 тыс. т цемента (за январь—июнь 2006 г. — более 375 тыс. т цемента). Растут производственные показатели на Ангарском цементном заводе (г. Ангарск, Иркутская обл.): более 419 тыс. т цемента за первое полугодие 2007 г. (за аналогичный пери-

од прошлого года — более 292 тыс. т цемента). На Тимлюйском цементном заводе (пос. Каменск, Республика Бурятия) производство составило более 151 тыс. т цемента (за январь—июнь 2006 г. — около 90 тыс. т цемента). Таким образом, по итогам первого полугодия производство четырех заводов, входящих в состав ОАО «Холдинговая компания «Сибирский цемент», составило более 2 млн т цемента. За шесть месяцев прошлого года было произведено 1,76 млн т цемента.

По сообщению пресс-службы  
ОАО «Холдинговая компания  
«Сибирский цемент»

**Итоги июньских торгов цементом на МФБ**

Продолжается устойчивый рост интереса участников торгов отделения «Строительные материалы» секции товарного рынка МФБ к торгам цементом. Объем продаж продукции производства заводов ОАО «ЕВРОЦЕМЕНТ групп», ОАО «Мордовцемент» и заводов «ЕВРОЦЕМЕНТ групп — Украина» по сравнению с прошлым месяцем в денежном

выражении вырос на 41% (более 4 млрд р.), количество сделок — на 16% (1035), количество проданного товара — на 26% (свыше 1,36 млн т). Таким образом, доля биржевых торгов цементом в июне увеличилась на 3% и составила 21% от общего объема производства цемента в России.

По материалам  
Московской фондовой биржи

## КОЛЛЕГИ

**К 70-летию С.М. Байболова**

5 июля 2007 г. исполнилось 70 лет *Серекпеку Мукашевичу Байболову* – доктору технических наук, профессору, академику Национальной инженерной академии Республики Казахстан, генеральному директору ТОО «Международный институт оценки» (Алматы).

Серекпек Мукашевич закончил Алмаатинский строительный техникум, а затем Всесоюзный заочный инженерно-строительный институт. С.М. Байболов прошел путь от мастера на строительных объектах до заместителя министра высшего и среднего специального образования Казахстана. Им впервые в стране была организована кафедра спортивных сооружений, давшая новое направление научных исследований в области создания эффективных материалов для спортивных объектов. С 1991 г. по 2004 г. Серекпек Мукашевич возглавлял Государственный комитет по архитектуре и строительству Республики Казахстан, являясь одновременно заместителем министра строительства республики.

С.М. Байболов является автором более 250 научных работ в области композиционных строительных материалов для спортивных сооружений и более 50 авторских свидетельств и патентов СССР, Казахстана и других стран. Им подготовлено несколько докторов и кандидатов наук, создана научная школа.

За большой вклад в развитие материальной базы высших учебных заведений и строительную отрасль С.М. Байболов награжден орденами «Знак Почета», «Дружбы народов», медалями и другими наградами.

*Редакция и редакционный совет журнала, коллеги сердечно поздравляют Серекпека Мукашевича Байболова с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, радости и оптимизма, неувядающего задора и новых творческих свершений.*

## НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**Новый материал компании «Гекса»**

Массовое производство тканого геотекстиля шириной 4,2 м начато компанией на производственной базе в г. Троицке Тверской области. Плотность нового материала составляет 100–500 г/м<sup>2</sup>, продольная прочность при разрыве 90 кН, поперечная – 100 кН. Использование геоткани шириной 4,2 м при производстве дорожных работ позволяет избежать лишних швов, сокращая тем самым трудоемкость.

По данным Академии конъюнктуры промышленных рынков, доля отечественных материалов на российском рынке геотканей постепенно растет и в настоящее время составляет около 30%. По прогнозам к 2010 г. объем потребления геотканей достигнет 23,5 тыс. м<sup>2</sup>, при этом 50% рынка займет продукция отечественных производителей. Спрос на тканые геосинтетические материалы

прямо пропорционален объемам дорожного строительства в том или ином регионе. Крупнейшими потребителями геосинтетиков в нашей стране являются Центральный и Северо-Западный ФО. Их совокупная доля в структуре потребления этих материалов составляет 67,3%. Географическое размещение производств геосинтетиков по регионам России способствует созданию на внутреннем рынке дефицита отечественной продукции. Структура размещения производств геосинтетиков в России не совпадает со структурой потребления материала на рынке. Наиболее сложная ситуация сложилась в Дальневосточном ФО: российская продукция туда практически не поступает, и растущий спрос на геосинтетики удовлетворяется исключительно за счет продукции из Китая, Южной Кореи и других стран.

По сообщению ООО «Гекса Развитие»

**Открыт первый завод Icoral в России**

В июне в г. Петушки (Владимирская обл.) открыт первый завод датского концерна Icoral в России, производственной программой которого предусмотрен выпуск кровельных и гидроизоляционных материалов.

Строительство производственно-складского комплекса общей площадью 8 тыс. м<sup>2</sup> было начато весной 2005 г., а в марте 2007 г. были проведены пусконаладочные работы на первой технологической линии завода. Ее производственная мощность составляет 12 млн усл. м<sup>2</sup>. В 2007 г. планируется выпустить 6 млн м<sup>2</sup> изоляционных материалов. Новый завод специализируется на выпуске мягких рулонных кровельных материалов на битумной основе.

На заводе будет выпускаться новое поколение битумно-полимерных кровельных материалов по запатентованной технологии «Быстрый профиль». Эти материалы позволяют покрывать больше площади кровли за единицу времени.

Завод во Владимирской обл. – самый совершенный из аналогичных производств концерна Icoral. Стоимость реализации этого проекта составляет 15 млн евро.

Для эффективного контроля качества продукции на новом заводе создана техническая лаборатория. Ее оборудование позволяет контролировать производственный процесс и качество продукции в режиме онлайн из центральной лаборатории концерна Icoral во Франции.

В 2008 г. запланировано строительство еще одной производственной линии. В 2009 г. концерн Icoral планирует занять 10% российского рынка. Строительство завода в г. Петушки имеет социальную значимость: открыто около 40 новых рабочих мест, а после введения в строй второй линии количество рабочих мест будет увеличено до 100.

Группа компаний Icoral объединяет 32 современных завода по производству битумно-полимерных материалов в Дании, Финляндии, Франции, Швеции, Нидерландах, Польше, США. Ежегодный оборот концерна составляет более 900 млн евро. Количество сотрудников по всему миру – около 4 тыс. человек. С августа 2007 г. единоличным владельцем концерна станет компания Investcorp (Бахрейн).

Собственная информация



## Международная конференция «Промышленные минералы и научно-технический прогресс»



31 мая – 1 июня 2007 г. в Москве в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН состоялась Вторая международная конференция «Промышленные минералы и научно-технический прогресс». Организаторами конференции выступили Ассоциация «Промышленные минералы», Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Центральный научно-исследовательский институт нерудных полезных ископаемых. Участниками конференции были ученые и специалисты в области технологической минералогии, обогатители, производители различных продуктов из природного и техногенного минерального сырья.

Приветствовал конференцию директор ИГЕМ РАН член-корреспондент РАН **Н.С. Бортников**, который отметил, что вся история человечества связана с обработкой или переработкой минерального сырья. Первыми начали использоваться для производства орудий труда кремень и обсидиан. Затем настал век бронзы и железа, им на смену пришли различного рода легированные стали и сплавы, на смену камню – новые искусственные строительные материалы. Научно-технический прогресс за всю историю человеческой цивилизации развивался в двух направлениях: совершенствования механизмов – орудий труда и улучшения среды обитания – жилища, промышленных сооружений. Рост населения, развитие техники требовали создания новых материалов, в основе которых в любом случае находилось минеральное сырье. Степень развития экономики страны оценивалась по уровню производства стали. Однако с середины прошлого века наблюдается постепенное возрастание роли неметаллических полезных ископаемых. По выражению академика А.Е. Ферсмана, XXI век будет веком керамики. Образно говоря, человечество, следуя законам развития, возвращается к каменному веку, но на высочайшем по сравнению с прошлыми веками уровне научно-технического прогресса.

Тезис «Железо – фундамент цивилизации» в настоящее время, по мнению д-ра геол.-минер. наук **В.В. Наседкина** (ИГЕМ, Москва) значительно поколеблен. Одним из направлений развития машиностроения и строительства было и остается снижение металлоемкости конструкций за счет замены стали пластмас-

сами. Во второй половине XX века развитие промышленности полимерных материалов и пластмасс было одной из приоритетных задач в промышленной политике СССР. В настоящее время объем производства пластмасс превышает объем производства традиционных конструкционных материалов. В 2000 г. мировое производство пластмасс составило 170 млн т, в 2003 г. – около 200 млн т; к 2010 г. прогнозируется увеличение производства пластмасс до 300 млн т. До недавнего времени в пластмассы вводили минеральные наполнители в основном с целью снижения их себестоимости. В современном производстве наполнители вводят для улучшения физико-технических свойств пластмасс – повышения прочности, снижения теплопроводности, горючести и т. д. Наполнители вводятся в количестве 20–40 мас.%. Если ориентироваться на среднее количество вводимого наполнителя 25%, в 2008 г. суммарная потребность в наполнителях может составить 600 тыс. т минерального сырья. Основными минеральными наполнителями для пластмасс являются промышленные минералы: молотые мел и доломит, барит, кварцевый порошок, каолин, тальк и асбест. Придание специальных свойств пластмассам с помощью введения минеральных наполнителей выдвигает особые требования к сырью для их производства, что в свою очередь, влечет повышенные требования к определению качества сырья при добыче, измельчении, классификации и обогащении.

Повышение требований к сырью перерабатывающими отраслями, в том числе и промышленностью строительных материалов, стимулирует развитие технологи-



Конференцию открывает директор Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН член-корр. РАН Н.С. Бортников



С докладом выступает директор Института геологии Карельского научного центра РАН д-р геол.-минер. наук В.В. Щипцов



Стратегию минерало-технологических исследований ЦНИИгеолнеруд представляет канд. техн. наук А.В. Корнилов



О получении новых строительных и огнеупорных материалов из силикатного сырья рассказывает канд. техн. наук А.В. Череватова (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова)



Об исследовании наночастиц в суспензии бентонита Даш-Салахлинского месторождения сообщил Я.И. Беров, технический директор группы компаний «Бентопром» (Москва)



Участники конференции могли ознакомиться с шунгитовыми породами Карелии, посетив Нигозерское, Зажогинское и Максвовское месторождения. Осмотр старой штольни в пос. Шун'га

ческой минералогии. Технологическая минералогия, являясь частью прикладной минералогии, решает задачи всестороннего изучения минералов с целью определения их технологических свойств. Использование в этих исследованиях типоморфных характеристик минералов позволяет, по мнению д-ра геол.-минер. наук **В.В. Щипцова** (ИГ КарНЦ РАН, Петрозаводск), оценить перспективы изучаемого геологического объекта на ранних стадиях. «Руда любая будет не у дел, пока технологи и обогатители, пройдя через большие испытания, не найдут оптимальный передел». Учет типоморфных особенностей – качественно-количественного состава исходной руды, структурно-текстурных особенностей, физических свойств, состава самих минералов, формы нахождения полезных компонентов, присутствие близких по свойствам минералов, используемым в обогащении, позволяет правильно выбрать способы дальнейшей переработки минерального сырья с целью максимального извлечения полезных компонентов.

Особое значение также приобретают минералогическое исследование. Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского является одним из ведущих научных центров страны, занимающимся комплексным изучением большой группы рудных полезных ископаемых. Однако в последние годы, как сообщила, д-р геол.-минер. наук **Е.Г. Ожогина** (Москва), чаще возникает необходимость проводить исследования нерудного сырья: анализ состояния и потребления минерально-сырьевой базы полезных ископаемых; литологические, минералогические и петрографические исследования; изучение элементного состава пород и руд, исследования физико-химических свойств минералов и их агрегатов. Применение высокоразрешающей оптической микроскопии, рентгенографии, вычислительной рентгеновской микротомографии, аналитической электронной микроскопии, инфракрасной спектроскопии, электронного парамагнитного резонанса, люминесценции, термического анализа позволяют получать полную и достоверную информацию о сырьевом объекте, прогнозировать не только способы и методы его переработки, но и новые потребительские свойства. Исследование шунгитовых пород Карелии, включающее определение их минерального состава, морфо-структурных особенностей и технологических свойств, дает возможность значительно расширить область применения этого вида сырья.

Постепенное истощение запасов природного минерального сырья заставляет по-новому подходить к их минералого-технологическому изучению. О стратегиях и приоритетах минералого-технологических исследова-

ний, проводимых в ЦНИИГеолнеруд, сообщил канд. техн. наук **А.В. Корнилов** (Казань). Вовлечение в переработку низкокачественного минерального природного сырья вследствие недостаточности или отсутствия запасов качественного сырья, нетрадиционного вида сырья, отходов горнопромышленного комплекса, предъявление к сырью требований, гармонизированных с международными стандартами, расширение сферы использования нерудных полезных ископаемых требуют разработки специальной концепции их исследований. Концепция должна обеспечиваться высоким уровнем технологической оценки руд на разных стадиях геолого-разведочных работ; управлением качеством передела руд: формированием технологических типов сырья с заданными свойствами, обогащением с помощью распознавания устойчивых минеральных ассоциаций; направленным изменением технологических свойств минералов горных пород и руд путем разработки рациональных схем извлечения полезных компонентов, их модификации и облагораживания.

За последние два десятилетия была выделена группа нанокристаллических материалов, которые нашли применение в различных областях нанотехнологии. По определению к наноматериалам относятся вещества, частицы которых имеют характеристический размер в интервале 10–100 нм. Согласно этому определению к наноматериалам относятся некоторые группы природных веществ (глины, графиты и т. д.). Главной особенностью этих материалов является проявление так называемого размерного эффекта – зависимости свойств вещества от дисперсности. Рассмотрению термодинамики и кинетики химических реакций в нанодисперсных системах был посвящен доклад канд. геол.-минер. наук **Г.О. Пилояна** (ИГЕМ РАН, Москва). Предложенная им термодинамическая модель, позволяет сделать заключение, что дисперсность минерала может сдвигать равновесие реакции в зависимости от ее теплового эффекта в ту или иную сторону и регулировать скорость реакции. По предварительным оценкам скорость некоторых реакций с ростом дисперсности может возрасти в  $10^2$ – $10^6$  раз. Это явление открывает путь к разработке новых, более эффективных технологий переработки минерального сырья.

Живая дискуссия и интерес к докладам, несмотря на изнуряющую жару, стоявшую в Москве, свидетельствуют о все возрастающей роли науки и технологии в производстве продукции с новыми конкурентоспособными потребительскими свойствами.

**И.В. Козлова,**  
канд. физ.-мат. наук

## Оценка напряжений и разрушений структурных связей в бетоне по акустической эмиссии

В последнее время акустико-эмиссионный метод (АЭ) получил широкое применение для оценки прочности материалов и изделий при испытании их нагружением, а также с целью предупреждения аварийного состояния металлических конструкций при действии на них эксплуатационных нагрузок. В соответствии с методикой [1] критерием состояния конструкции является допустимый уровень источника АЭ, который устанавливается исполнителем при подготовке к АЭ контролю объекта на основании классификации источников АЭ применительно к данному объекту.

Для железобетонных конструкций упомянутая методика малоэффективна в силу различия механизмов зарождения и распространения АЭ. Во-первых, в бетоне разрушения структуры возникают уже при малых значениях нагрузок. Во-вторых, амплитудное распределение АЭ может меняться в зависимости от особенностей структурных связей бетона. Для высокопрочных бетонов амплитуда импульсов АЭ возрастает по мере увеличения нагрузки, как и в металле, но для низкопрочных начиная с некоторого значения она может снижаться. Цель проведенных исследований состояла в определении функциональной связи деформации, вызванной разрушениями структуры (величины нелинейного деформирования) бетона и суммарного числа импульсов АЭ, характеризующих величину накопленных повреждений (параметрической активности АЭ). В работе [2] в соответствии с этой гипотезой приведена

следующая формула функциональной связи между средней величиной напряжений в направлении действия силы сжатия/растяжения и количеством импульсов АЭ:

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= E_I (\varepsilon - \varepsilon_T) \\ \varepsilon_T &= \varepsilon \frac{N}{N_{np}} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_T$  – часть общей деформации образца  $\varepsilon$ , вызванная разрушениями структуры бетона и связанная с пластическим (квазипластическим) деформированием;  $N$  – суммарное число импульсов АЭ;  $N_{np}$  соответствует достижению предела прочности при одноосном сжатии/растяжении, т. е. предельному количеству разрушенных связей.

С учетом предложенного в работе [2] показателя нелинейности деформирования бетона ( $m$ ) выражение для оценки величины среднего напряжения в сечении при одноосном сжатии/растяжении имеет вид:

$$\sigma = E_I \varepsilon \left[ 1 - \frac{\varepsilon^{m-1}}{m \varepsilon_{np}^{m-1}} \right], \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{np}$  – предельная деформация бетона при одноосном сжатии/растяжении, а  $(\varepsilon/\varepsilon_{np})^{m-1}/m = N/N_{np}$ .

Прочность при сжатии/растяжении при  $\sigma = R$  и  $\varepsilon = \varepsilon_{np}$ :

$$R = E_I \varepsilon_{np} \left[ 1 - \frac{1}{m} \right]. \quad (3)$$

Таблица 1

Группа	Характеристики образцов
1-я серия Стандартные кубики размером 20×20×20 см (I и II группы)*	Заполнитель – гранитный щебень. Вяжущее – портландцемент М300 400 кг/м <sup>3</sup> , В/Ц = 0,45, Ц:П:Щ = 1:3:4. Проектная прочность 35 МПа (класс В25). Образцы были представлены двумя сериями. I группа – вибрирование 3 мин. II группа – уплотнение штыкованием, твердение в пропарочной камере
2-я серия Стандартные кубики размером 20×20×20 см (I группа)	Заполнитель – известняковый щебень. Вяжущее – портландцемент М300, 400 кг/м <sup>3</sup> , В/Ц = 0,5, Ц:П:Щ = 1:3:4. Проектная прочность 35 МПа (класс В25). Естественное твердение. Вибрирование 3 мин
3-я серия – Г+СП Стандартные кубики размером 20×20×20 см (I группа)**	Заполнитель – гранитный щебень, размер фракций 4–11 мм. Вяжущее – портландцемент М600, 540 кг/м <sup>3</sup> , В/Ц = 0,35, Ц: П: Щ = 1: 1: 3. Добавки ГКЖ 0,07%, СаСl <sub>2</sub> 2%. Проектная прочность 60 МПа (класс В50). Естественное твердение, интенсивное уплотнение – вибрирование с пригрузом
3-я серия – Г+СПа (модификация Г+СП) Стандартные кубики размером 20×20×20 см (II группа)	Заполнитель – гранитный щебень, размер фракций 4–11 мм. Вяжущее – портландцемент М600, 540 кг/м <sup>3</sup> . В/Ц = 0,37, Ц: П: Щ = 1: 1: 3. Добавки ГКЖ 0,07%, СаСl <sub>2</sub> 2%. Проектная прочность 60 МПа (класс В50). Естественное твердение, интенсивное уплотнение – вибрирование с пригрузом
3-я серия – Э2 Стандартные кубики размером 20×20×20 см (III группа)	Заполнитель – гранитный щебень, размер фракций 4–11 мм. Вяжущее – портландцемент М600, 540 кг/м <sup>3</sup> . Ц/П = 1, В/Ц = 0,37. Добавки ГКЖ 0,07%. Проектная прочность 60 МПа (класс В50). Естественное твердение, интенсивное уплотнение – вибрирование с пригрузом

\*Образцы 1-й и 2-й серий испытывались с целью проверки гипотезы хрупкого разрушения для цементов низкой активности. \*\* Образцы 3-й серии испытывались соответственно для цементов высокой активности.



Таблица 2

Диапазон деформирования	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Число пар по формуле (4)	–	1	3	6	10	15
Среднее отклонение	–	0,116	0,087	0,081	0,082	0,082
Среднеквадратическое отклонение	–	0,14	0,097	0,102	0,105	0,1

Мгновенный модуль упругости  $E_1$  имеет физический смысл при деформациях  $\varepsilon \rightarrow 0$ , т. е. при деформациях, не приводящих к разрушению структурных связей. Его можно рассчитать для бетонов с достаточной для практических случаев точностью по формуле  $E_1 = 0,91 \rho C_1^2$  [3], где  $\rho$  – плотность бетона, а  $C_1$  – скорость распространения упругой продольной волны. Скорость  $C_1$  измеряется импульсным ультразвуковым методом. В данных экспериментах она определялась с помощью прибора УКБ-1 с точностью 2%, резонансная частота датчиков при этом составляла 150 кГц.

Испытывались образцы бетона, различные по составляющим компонентам и технологии производства. Характеристика образцов, используемых при проведении исследований, представлена в табл. 1. Образцы испытывались с целью проверки гипотезы о хрупком (квазипластическом) разрушении бетона, лежащей в основе соотношений (1)–(3). С этой целью применялся цемент М300–М600; образцы подвергались различным методам уплотнения; использовался различный заполнитель (гранитный, известняковый щебень) изменялись условия твердения. Образцы 1-й и 2-й серий испытывались с целью проверки гипотезы хрупкого разрушения для цементов низкой активности. Для исследовательских целей был использован цемент с активностью (М300), а во 2-й серии – известняковый щебень. Образцы 3-й серии высокопрочного бетона испытывались для оценки физико-механических параметров при больших значениях активности цемента. Состав бетона 3-й серии определялся заказчиком в соответствии с договором обследования несущих строительных конструкций (величин напряжений и разрушений в бетоне) сооружения.

Некоторой особенностью использованной методики регистрации АЭ для бетона является установка экспозиции нагрузки. Она задавалась исходя из измерения скорости счета АЭ (интенсивности АЭ, число импульсов в секунду) в 100 раз, т. е. из физической картины релаксации напряжений в бетоне. Это позволяет обеспечить регистрацию импульсов АЭ в заданном объеме бетона до 99% относительно их возможного общего числа. До нагрузки, соответствующей примерно 75% марочной прочности, нагружение проводилось ступенчато, с остановками на задаваемых уровнях шагом 0,1; 0,25; 0,75 предельной.

Амплитуда  $U$  и суммарное число импульсов  $N$  регистрировались с помощью прибора Р-1, сконструированного автором статьи. Датчики АЭ регистрировали продольные колебания упругих волн. Резонансная частота датчиков АЭ 60 кГц. Образцы испытывались на прессе ПСУ-500.

Отличительной особенностью методики является учет увеличения амплитуды импульсов АЭ. По мере увеличения/уменьшения амплитуды радиус зоны регистрации импульсов увеличивается/сокращается. Необходимо регистрировать удельную плотность разрушения структурных связей в единице объема бетона, в противном случае получается кажущееся увеличение/уменьшение крутизны зависимости  $N = f(\varepsilon)$ . Это требование было учтено при конструировании аппаратуры введением устройства автоматического регулирования усиления. Максимальная чувствительность (30 мкВ) соответствует пороговому уровню, нижней границе  $\varepsilon_c/\varepsilon_{np} = 0,05–0,1$  ( $\varepsilon_c$  – деформация при минимальной нагрузке;  $\varepsilon_{np}$  – при максимальной нагрузке). При такой чувствительности амплитуда импульсов примерно соответствовала АЭ в образцах серии 2,  $R = 10,6$  МПа,  $\varepsilon_{np} = 2,4 \cdot 10^{-3}$ ,  $E_1 = 2,5 \cdot 10^4$  МПа,  $m = 1,21$ .

Из графиков, построенных по экспериментальным данным отдельных образцов серий (1–3), установлено, что кривые зависимости  $m\varepsilon_T/\varepsilon$  и  $N/N_k$  от  $\varepsilon/\varepsilon_k$  подобны

друг другу. На этом основании было сделано предположение, что исходя из измерений числа импульсов АЭ  $N$  и деформации  $\varepsilon$  можно определить показатель нелинейности, т. е. находить характеристику нелинейности деформирования. Ввиду разброса точек измерения  $\varepsilon$  и  $N$  относительно средних значений наблюдаемой зависимости  $N/N_k = f(\varepsilon/\varepsilon_{np})$  среднее значение  $\bar{m}$  вычислялось из выражения:

$$\bar{m} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{i=k} \frac{\ln \frac{N_{i+1}}{N_i}}{\ln \frac{\varepsilon_{i+1}}{\varepsilon_i}} + 1, \quad (4)$$

где  $k$  – число ступеней нагружения;  $\varepsilon_i$  – значения деформаций материала на ступенях нагружения  $i$ .

Методика определения  $N_i$  состояла в следующем: на уровнях нагружения  $i$  измерялись деформация  $\varepsilon_i$  и суммарное число импульсов  $N_i$ ; по измеренным величинам  $\varepsilon_i$  и  $N_i$  строилась экспериментальная зависимость  $N = f(\varepsilon)$ ; из зависимости  $N = f(\varepsilon)$  в точках измерения деформации  $\varepsilon_i$ , задаваясь значениями приращения деформации  $\Delta\varepsilon$  на уровне  $i = 1$  из условия,  $\Delta\varepsilon/\varepsilon_i$ , определялось приращение числа импульсов АЭ  $\Delta N_i$ .

Проверка гипотезы состояла в сравнении показателей нелинейности деформирования  $m$ , вычисленных по (4), с аналогичными показателями, но вычисленными по результатам анализа диаграммы сжатия ( $\sigma - \varepsilon$ ): удельной нагрузки, создаваемой давлением пресса  $P$  на единицу поверхности образца, измеренной до проведения эксперимента, и деформации образца  $\varepsilon$  в направлении сжатия. Определялись давление  $P$  и полная деформация образца  $\varepsilon$ . Критерием оценки служило среднее и среднеквадратическое отклонение значений  $\sigma$ , определенных по (2) и диаграмме ( $\sigma - \varepsilon$ ).

Выражение (4) определяет среднее значение показателя нелинейности исходя из его частных значений, на  $k$  уровнях нагружения. Такая методика повышает точность определения  $m$ . Анализ статистического разброса значений показывает, что используемая методика вычислений  $\bar{m}$  по формуле (4) уменьшает среднеквадратическую ошибку определения  $m$ . При трех-четырёх ступенях нагружения и вычислении  $\bar{m}$  в диапазоне  $0,05 < \varepsilon/\varepsilon_{np} < 0,3$  среднеквадратическое отклонение (табл. 2) уменьшается примерно в 1,5 раза по сравнению с измерением  $m$  при двух ступенях нагружения. Дальнейшее увеличение ступеней нагружения малоэффективно. Это обстоятельство может быть объяснено тем, что при увеличении уровня нагружения в связи с увеличением интенсивности эмиссии возрастают аппаратная и методическая погрешности в результате маскировки импульсов друг другом, инерционности аппаратуры, шумов при трении частиц материала и т. д.

В результате проведенных экспериментов для практического использования акустико-эмиссионного метода для оценки напряжений и прочности бетона может быть рекомендован диапазон измерения деформации с коэффициентом перекрытия  $\varepsilon/\varepsilon_{n1} > 3–4$  при начальном (пороговом) уровне деформации  $\varepsilon_{n1} \geq (0,7–0,15)\varepsilon_{np}$ . Количество ступеней нагружения 3–4.

Таблица 3

Примечание	Параметры	1-я серия		2-я серия	3-я серия		
		I гр.	II гр.	I гр.	I гр.	II гр.	III гр.
По диаграмме ( $\sigma-\epsilon$ )	Среднее значение $R$ , МПа	34,2	13,9	34	71,5	53,6	55,4
	Среднее значение $E_1$ , $\times 10^4$ МПа	3,94	3,03	3,48	4,48	3,95	4,43
	Среднее значение $\epsilon_{np}$ , $\times 10^{-3}$	1,79	1,53	2,34	2,43	2,3	2,33
По измерениям АЭ	$R' = E_1 \epsilon_{np} \left[ 1 - \frac{1}{\bar{m}} \right]$	410	93	513	759	528	577
	Среднее значение $\bar{m}$	2,39	1,25	2,7	3,3	2,39	2,27
	Среднее относительное отклонение $\Delta \bar{m} / \bar{m}^*$	0,09	0,13	0,08	0,05	0,09	0,07
	Среднеквадратическое относительное отклонение $CKOO = +\sqrt{D}/m'^{**}$	0,05	0,073	0,067	0,07	0,07	0,08

\* Здесь  $\Delta \bar{m} / \bar{m} = \sum_1^n |m' - m| / n \bar{m}$ , где  $m'$  найдено из диаграммы ( $\sigma-\epsilon$ ) на  $n$ -м уровне нагружения.  
 \*\*  $CKOO = +\sqrt{D}/m'$ , где  $D$  – дисперсия разброса значений показателя нелинейности  $m$  по АЭ.

Полученные значения на образцах серий 1–3 (табл. 3) смещены относительно  $m'$ . Величина отклонения изменяется с увеличением деформации материала. В области деформации  $0,05 < \epsilon / \epsilon_{np} < 0,1$  отклонение можно объяснить тем, что при малом уровне амплитуды импульсов АЭ регистрируются не все импульсы, возникающие в объеме, а лишь некоторая их часть в зоне непосредственно у датчика.

Увеличение чувствительности аппаратуры нерационально, поскольку при этом снижается ее помехозащищенность. Поэтому значение деформации  $\epsilon_z$  следует принять за минимальное значение, при котором методика акустической эмиссии может быть использована.

В начальной области деформирования результаты эксперимента имели систематическую ошибку: завышенное значение показателя нелинейности  $m$ , вычисленного по АЭ. Отрицательное смещение  $|m' - m|$  в диапазоне  $\epsilon / \epsilon_{np} > 0,1$  частично связано с недостаточной эффективностью работы устройства автоматического регулирования усиления. Однако основная причина состоит в том, что теоретические представления, в результате которых получена формула (3), основаны на предположении хрупкого разрушения бетона и не учитывают его пластических свойств. В этой связи величину предельной деформации  $\epsilon_{np}$ , используемой в расчетах, нужно рассматривать как составляющую предельной деформации  $\epsilon_k$ , которая характеризует связь процесса эмиссии и деформации материала. Результат систематического отклонения  $m'$ , найденного исходя из значения  $\epsilon_{np}$  и  $\bar{m}$ , является следствием отличия  $\epsilon_{np}$  и  $\epsilon_k$ . При использовании метода акустической эмиссии для оценки напряжений и прочности бетона необходимо пользоваться значением  $\epsilon_{np}$ .

По результатам первой группы образцов (серия 2) можно проследить влияние заполнителя на однородность структуры. Диапазон значений  $\bar{m}$  для этой группы равен 1,21–1,82. Наибольшим значением  $\bar{m}$  обладают образцы цементного камня. Распределение прочности характеристик элементарных структурных связей для этого вида материала близко к равномерному. С повышением крупности песка до среднего размера 3 мм наблюдается тенденция к уменьшению значения показателя  $\bar{m}$ , при котором наибольшее число структурных связей имеет минимальную прочность. При больших величинах размеров наполнителя эта тенденция изменяется, при крупности 4–5 мм  $\bar{m}$  возрастает; для вибрированных бетонов с крупным заполнителем до 3 см (серии 1, 2)  $\bar{m} \geq 2$ , то есть преобладают структурные связи с большей прочностью. Из сравнения  $\bar{m}$  серий 1, 2 видно, что более однороден материал на известняковом заполнителе, чем на гранитном. Это можно

объяснить тем, что на однородность бетона оказывает влияние различие физико-механических характеристик заполнителя и связки.

Сравнение показателей  $\bar{m}$  серий 1 и 2 показывает влияние степени уплотнения на однородность материала и характеристику распределения структурных связей по прочности. Для бетонов, уплотненных штыкованием, преобладают связи с минимальной прочностью. Для бетонов вибрированных в ряде случаев преобладали связи с максимальной прочностью. Таким образом, параметр  $\bar{m}$  отражает структурные характеристики бетона, влияющие на нелинейность его деформирования.

Измерения показателя нелинейности  $\bar{m}$  и мгновенного модуля упругости  $E_1$  в зависимости от характеристик составляющих бетона могут быть противоположны. С увеличением модуля упругости значение показателя нелинейности может уменьшаться. Сопоставление серий 1–2 показывает, что бетоны на гранитном заполнителе имеют значение модуля упругости большее, а значение показателя нелинейности в ряде случаев меньше, чем бетоны на известняковом заполнителе. В этом случае согласно (3) влияние  $E_1$  и  $\bar{m}$  на прочность противоположно. Независимость этих параметров и примерно одинаковое влияние на прочность показывает на необходимость учета обеих величин при неразрушающем контроле прочности бетона в конструкциях. Этим обстоятельством можно объяснить погрешность метода определения прочности бетона по скорости распространения ультразвуковых волн. Существенным для контроля бетона является учет как упругих свойств, так и неупругих, обусловленных неравномерностью распределения прочностных характеристик структурных элементарных связей.

Таким образом, исследование связи процесса акустической эмиссии и деформирования бетона при одноосном сжатии показывает возможность использования параметров эмиссии для оценки закономерности деформирования. При этом число импульсов АЭ отражает разрушение структуры материала и развивающуюся при этом нелинейную деформацию; зависимость напряжений от деформации можно описать уравнением (2), вычислить показатель нелинейного деформирования, например, по формуле (4), а по формуле (3) – величину прочности при одноосном сжатии; амплитуда импульсов АЭ линейно связана с величиной прочности разрушаемых связей структуры, это обстоятельство необходимо учитывать для корректного определения суммарного числа импульсов в единице объема; при определении показателя нелинейности деформирования следует пользоваться методом, при котором контролируемый объем материала ос-

тается постоянным во всем диапазоне измерения нагрузок и величины амплитуды импульсов АЭ; показатель нелинейности деформирования измеряется при ступенчатом нагружении бетона; необходимая выдержка нагрузки определяется по уменьшению интенсивности акустической эмиссии на два порядка; по окончании выдержки определяются деформация бетона и зарегистрированное число импульсов АЭ; первая ступень нагружения задается при деформации  $\epsilon_1 > \epsilon_2 = (0,075-0,15) \cdot 10^{-3}$ ; диапазон изменения деформации должен иметь коэффициент перекрытия  $\epsilon/\epsilon_1 > 3-4$  при трех-четырех ступенях нагружения.

#### Список литературы

1. ПБ 03-593-03 Правила организации и проведения АЭ контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов. Госгортехнадзор России. 2003.
2. Калашиков В.А., Еременко В.П. Зависимость между напряженно-деформированным состоянием бетона и акустической эмиссией // Бетон и железобетон. 1978. № 4. С. 41-42.
3. Крылов Н.А., Калашиков В.А. Полищук А.М. Радиотехнические методы контроля качества железобетона. М.: Стройиздат. 1966.

## ИНФОРМАЦИЯ

# Хризотилвый асбест: проблемы безопасности, перспективы использования

Эту тему обсудили участники круглого стола, который состоялся 30 мая 2007 г. в рамках третьей международной выставки «Промышленные минералы». В его работе приняли участие представители Хризотилевой ассоциации, научно-исследовательских институтов, администраций регионов и промышленных предприятий.

С современным состоянием мировых запасов и производства хризотил-асбеста ознакомил участников круглого стола д-р геол.-минер. наук **В.В. Наседкин** (ИГЕМ РАН). Россия обладает самой мощной сырьевой базой хризотил-асбеста. Крупнейшее в мире Баженовское месторождение (г. Асбест, Свердловская обл.) разрабатывается с 1889 г., кроме того, с 1979 г. вступило в строй Киембаевское месторождение, которое разрабатывается ОАО «Оренбургские минералы». Мировым лидером по добыче хризотилового асбеста в 2005 г. являлись Республика Казахстан (500 тыс. т в год) и Российская Федерация (461 тыс. т в год).

С докладом «Минерал хризотил на службе человека» выступил руководитель московского представительства Хризотилевой ассоциации **Ю.Т. Комаров**, который подчеркнул очередное достижение российской делегации на 60-й сессии Всемирной ассамблеи здравоохранения по защите производителей хризотил-асбеста и изделий из него. В результате действий российской делегации при поддержке делегаций Канады, Индии, Китая и Бразилии из Генерального плана действий по охране здоровья работающих удалось исключить пункт, запрещающий применение асбеста и асбестосодержащих материалов, принятие которого нанесло бы ощутимый удар по экономике асбестодобывающей и асбестоперерабатывающей отрасли промышленности. Значение асбеста и асбестоцементных

изделий для стройиндустрии трудно переоценить. Производство шифера составляет 50% от общего производства кровельных материалов в России, 70-80% – на Украине. Необходимо до каждого гражданина донести правду об асбесте, заключил Ю.Т. Комаров.

Методологические аспекты стратегии гигиены труда при использовании волокнистых материалов изложила в своем докладе д-р мед. наук **Л.Т. Еловская** (НИИ медицины труда РАМН). На основании анализа огромного количества экспериментальных данных, Людмила Тимофеевна сделала вывод, что «современный уровень знаний требует перехода от контроля одновременных концентраций – это касается всех аэрозолей преимущественно фиброгенного действия – к контролю общих пылевых нагрузок, являющихся суммарными экспозиционными дозами пыли на органы дыхания, которые рассчитываются из знания концентраций по общей массе пыли.

Выступившая в дискуссии канд. техн. наук **С.М. Нейман** подчеркнула, что асбест в асбестоцементных изделиях настолько изменяет свою структуру и свойства и настолько прочно связан с цементной матрицей, что для проведения соответствующих медико-биологических испытаний из 2,5 кг промышленно произведенной асбестоцементной пыли смогли выделить 8 г пыли на 47% обогащенной волокнами.

«Мы убеждены, что использование хризотила жизненно необходимо во имя здоровья и социального благополучия миллиардов людей во всем мире, страдающих от отсутствия крыши над головой и чистой питьевой воды. Широкое использование экономичных асбестоцементных изделий – одно из важнейших условий решения этой проблемы» – к такому заключению пришли участники круглого стола.



Р.А. НАЗИРОВ, д-р техн. наук, Д.А. МИХЕЕВ, инженер,  
Е.В. ПЕРЕСЫПКИН, канд. техн. наук, О.В. СОЛОВЬЕВА, инженер,  
Сибирский федеральный университет (Красноярск)

## Использование программных комплексов для повышения достоверности результатов тепловизионных обследований

Возрастающая стоимость энергоносителей, высокая энергоёмкость производства, сложная экологическая обстановка в большинстве крупных городов мира вынуждает производителей и потребителей тепловой энергии разрабатывать программы по энергосбережению и вести поиск новых путей, направленных на сокращение теплопотерь в зданиях и сооружениях. По оценке зарубежных специалистов тепловые потери в строительном секторе составляют около 30% от общих энергетических потерь.

Одним из способов определения теплопотерь является тепловизионный контроль наружных ограждающих конструкций, который по своим уникальным возможностям — наглядности, информативности и производительности является самым эффективным. К настоящему времени накоплен значительный опыт и создана нормативная база для его широкого применения в строительной отрасли.

Тепловизионное обследование строительных объектов широко внедряется и в отечественную строительную практику. Применение тепловизионных обследований позволяет с высокой точностью определить места повышенных теплопотерь.

СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» предписывает при приемке зданий в эксплуатацию осуществлять тепловизионный кон-

троль качества тепловой защиты здания с целью обнаружения скрытых дефектов и их устранения. Нарушения теплозащитных свойств (дефекты тепловой защиты) можно классифицировать на проектные, допущенные при проектировании; эксплуатационные, появившиеся вследствие нарушения температурно-влажностного режима содержания помещения; производственные. Последние можно разделить на конструктивные, возникшие в процессе производства конструкции или изделия, и монтажные, которые появились в результате некачественного выполнения строительного-монтажных работ.

Для сопоставления результатов, полученных при проведении тепловизионных обследований, и повышения эффективности обнаружения скрытых дефектов обследуемых конструкций рекомендуется использовать результаты теоретических расчетов на программных комплексах. Применение программных комплексов, таких как «TEMPER-3D», позволяет произвести сравнение распределения тепловых полей и в ряде случаев установить причину образования дефектной зоны. При этом путем проведения сравнительного анализа характеристик примененных строительных материалов (плотность, теплопроводность и т. п.) можно с достаточно высокой точностью определить причину образования аномального участка.

Для наглядности приведем пример, раскрывающий возможности применения программных средств в практике тепловизионных обследований.

При проведении тепловизионного обследования наружных ограждающих конструкций жилой квартиры дома, возведенного по монолитной технологии, были выявлены зоны пониженных температур в наружном углу помещения (в месте расположения колонны крайнего ряда) и в местах примыкания стенового ограждения к монолитным дискам перекрытия. На рис. 1 показан фрагмент фотографии и приведена термограмма обследованного участка.

Для выяснения причин образования зон с пониженными температурами был проведен проверочный теоретический расчет на программном комплексе «TEMPER-3D» на основе проектных чертежей. В качестве граничных условий взяты следующие расчетные параметры: температура наружного воздуха самой холодной пятидневки  $t_{\text{ext}} = -40^\circ\text{C}$  согласно табл. 1 СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»; температура воздуха помещения  $t_{\text{int}} = +21^\circ\text{C}$  согласно табл. 1 ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»; влажность воздуха помещения  $\phi_{\text{int}} = 55\%$  по п. 5.9 СНиП 23-02-2003; температура точки росы  $t_d = 11,62^\circ\text{C}$  по приложению Р СП 23-101-204 «Проектирование тепловой защиты зданий»; коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции  $\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  по табл. 7 СНиП 23-02-2003; коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции  $\alpha_{\text{ext}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  по табл. 8 СП 23-101-2004; влажностный режим эксплуатации помещения нормальный в соответствии с табл. 1 СНиП 23-02-2003; зона влажности тер-

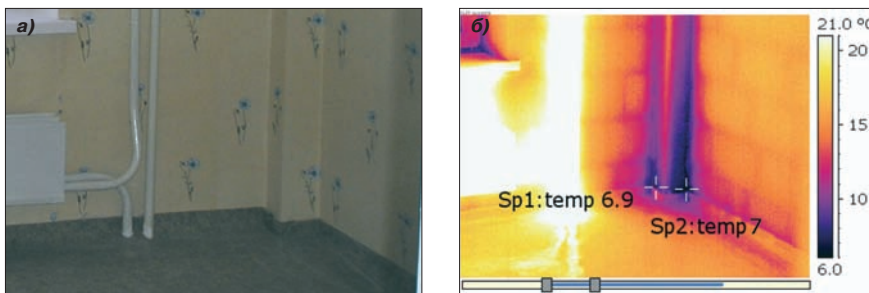


Рис. 1. Фотография (а) и термограмма (б) наружного стенового угла

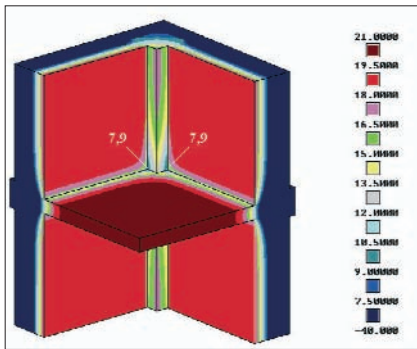


Рис. 2. Результаты проверочного теоретического расчета

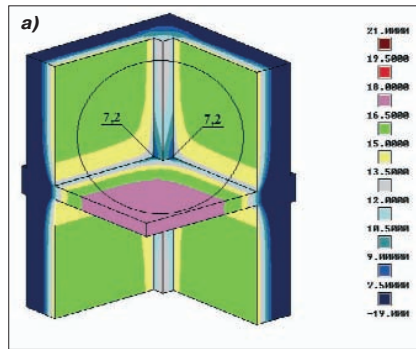
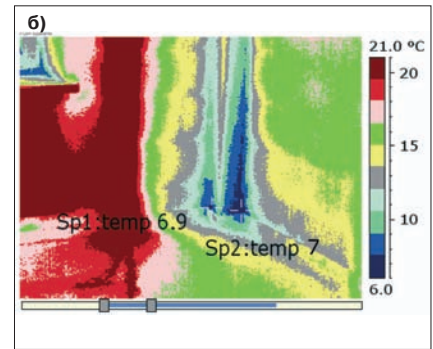


Рис. 3. Результаты теоретического расчета на программном комплексе «TEMPER-3D» (а) и тепловизионного контроля (б)




ритории сухая согласно приложению В СНиП 23-02–2003; условия эксплуатации ограждающей конструкции – А по табл. 2 СНиП 23-02–2003. Результаты расчета представлены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, температура (+7,9°C) в углу, образованном наружными стеновыми ограждениями и перекрытием, ниже температуры точки росы (+11,6°C), что указывает на ошибки, допущенные уже на стадии разработки проектного решения рассматриваемого узла.


Для подтверждения вышеуказанного заключения проведено качественное и количественное сравнение

результатов натурального и теоретического расчетов. Для этой цели в качестве исходных данных для программного комплекса вводятся значения, зарегистрированные в процессе проведения тепловизионной съемки и обработанные согласно ВСН 43–96 «Ведомственные строительные нормы по теплотехническому обследованию наружных ограждающих конструкций зданий с применением малогабаритных тепловизоров»:  $\alpha_{int} = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ,  $t_{int} = +17^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_{ext} = 19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ,  $t_{ext} = -19^\circ\text{C}$ . Результаты теоретического расчета и практической проверки представлены на рис. 3.


Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы: распределение тепловых полей по внутренним поверхностям наружных ограждений, зафиксированное в результате проведения натурального тепловизионного обследования, подтверждается результатами теоретического расчета на программном комплексе «TEMPER-3D»; погрешность количественных показателей – температур внутренних поверхностей ограждений, зафиксированных в результате натурального обследования и рассчитанных на «TEMPER-3D», находится в пределах 4%.



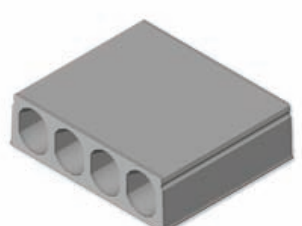
# plan S.r.l.



МАШИНЫ И  
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ  
ШПАЛ ИЗ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА



МАШИНЫ И  
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ  
ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА



МАШИНЫ И  
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА  
ПУСТОТЫХ ПЛИТ  
ПЕРЕКРЫТИЙ

---

фирма "ПЛАН" ул.делле Неббие,7 53044 Кьюзи (Сиена), ИТАЛИЯ  
 тел/факс +39 0578222197 тел/факс +39 057821296 (Uff. Commerciale)  
[www.planitalia.it](http://www.planitalia.it) [info@planitalia.it](mailto:info@planitalia.it)

РЕКЛАМА

А.Д. ДИКУН, канд. техн. наук, В.Я. ФИШМАН, инженер,  
В.Н. ДИКУН, канд. техн. наук, ГАСИС;  
И.Н. НАГОРНЯК, заслуженный строитель РФ, канд. техн. наук, Москомархитектуры;  
Т.Е. ТЮРИНА, канд. техн. наук, АНО «Стандартинжинвест» (Москва);  
А.В. АЛЕКСЕЕВ, начальник ЦСП ОАО «Мостоотряд-19» (Санкт-Петербург)

## **10 лет стандарту ГОСТ 10060.3–95 «Бетоны. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости»**

Известно, что одним из показателей надежности и долговечности бетонных конструкций является морозостойкость бетона. Определять это свойство бетона впервые было предложено в 1886 г. профессором Санкт-Петербургского института путей сообщения Н.А. Белелюбским [1]. В XX столетии метод определения морозостойкости путем попеременного замораживания-оттаивания был стандартизирован в соответствии с требованиями эксплуатации конструкций и назначаемой марки морозостойкости бетона, предусмотренной проектом.

Для условий ускоренного определения морозостойкости бетона требуются специальные камеры для понижения температуры бетона до  $-50^{\circ}\text{C}$  вместо  $-15^{\circ}\text{C}$  и насыщение бетона водным раствором хлористого натрия. Инструментальное обеспечение этих методов — пресс и весы. Продолжительные, энергозатратные и трудоемкие стандартизированные методы прогнозирования морозостойкости бетона при переменном замораживании-оттаивании продолжают применяться и в XXI веке.

В XX веке были выполнены исследования и разработки, направленные на снижение продолжительности испытаний, энергозатратности и трудоемкости при определении морозостойкости бетона [2–4].

В 90-х гг. прошлого века была отмечена необходимость перехода от метода попеременного замораживания-оттаивания, дающего качественную оценку морозостойкости в циклах, к количественному методу с критерием прогнозирования морозостойкости бетона, выраженной в физической величине, например деформации бетона при замораживании. Определенной сложностью создания такого метода является необходимость сохранения классификации морозостойкости по маркам с целью продолжения использования нормативных и проектных требований на морозостойкость, основанных на базовых методах [5–7].

Многолетние творческие поиски специалистов ВНИИжелезобетона, ВНИИФТРИ, лаборатории № 458 Минобороны СССР, МГСУ (МИСИ), ГАСИС (ЦМИПКС) были направлены на создание приборного обеспечения метода — объемного дилатометра, и установления соотношения между морозостойкостью по первому базовому методу и его объемными деформациями.

С 1994 г. все работы по созданию дилатометрического метода и приборов ДОД-100 сосредоточились в испытательной лаборатории ЦМИПКС испытания академии ЦМИПКС (ГАСИС) с участием специалистов Госстроя России.

В 1995 г. Госстроем России утвержден принципиально новый метод прогнозирования морозостойкости бетона — ГОСТ 10060.3–95 «Бетоны. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости», распространяющийся на испытание бетона на морозостойкость по первому базовому методу ГОСТ 10060.1–95.

В 2003 г. утверждены Изменения №1 к ГОСТ 10060.3–95, распространяющиеся на испытания на морозостойкость по второму базовому методу ГОСТ 10060.2–95.

Известно, что морозостойкость бетона, определяемая при попеременном замораживании-оттаивании и выраженная в циклах испытаний, не является физической величиной, в то время как в ускоренном методе определения морозостойкости показателем морозостойкости является физической величиной.

Современный уровень развития измерительной техники позволяет определять морозостойкость бетона через физические величины. Например, стандарт ASTM C674–94 (США) основан на измерении линейных деформаций бетона при замораживании. Однако при этом сохраняется продолжительность процесса попеременно замораживания-оттаивания, заканчивающегося при достижении увеличения линейных деформаций в два раза.

В работе [5] было предложено для определения морозостойкости принять деформации ускоренного метода замораживаемых образцов. Однако о реализации этого предложения информации нет.

Перспективным направлением создания ускоренного определения морозостойкости явилось использование природного явления расширения тела при переходе воды в лед — «аномального скачка», что стало основой дилатометрического метода (ДМ) измерений. При этом физическим параметром, связанным со структурными изменениями, происходящими в бетоне при замораживании-оттаивании, в конечном счете определяющими морозостойкость, являются его деформации [8, 9].

При создании отечественного дилатометрического метода ускоренного определения морозостойкости бетона была поставлена задача установления соотношения величины деформации с традиционно принятой в России классификации морозостойкости по циклам испытаний. При этом, основываясь на том, что потеря прочности — критерий, определяемый стандартными методами (ГОСТ 10060.1–95, ГОСТ 10060.2–95), была предположена связь между величиной деформации и значением марок морозостойкости, определенной при циклическом замораживании-оттаивании [10].

Создание приборного обеспечения метода — дилатометров началось в 1997 г. Двухкамерные дифференциальные объемные дилатометры ДОД-100 предназначались для измерения одного образца, результаты измерений объемных деформаций записывались на графопостроителе Н-307. С 2000 г. разработаны приборы ДОД-100К и ДОД-100К/3 с измерением соответственно одного образца или трех образцов одновременно с выводом информации на компьютер через пятиканальный контроллер. Продолжительность цикла измерения на новых приборах составляет 3–4 ч.

Дифференциальные объемные dilatометры разработаны в блочном исполнении с единым контроллером. Это дает возможность потребителю двухкамерных приборов ДОД-100К при необходимости доукомплектовать его до прибора ДОД-100К/3 (рис. 1).

В dilatометрических измерениях величина «аномальных» деформаций является информативным показателем состояния бетона при замораживании и его способности сопротивляться деструктивным повреждениям при попеременном многократном замораживании и оттаивании [11]. Таким образом, при dilatометрических измерениях доступными для производственных условий средствами обеспечивается не только оперативная информация, но и устанавливается объективное фактическое состояние бетона. Потребитель получает данные не о проектной марке морозостойкости бетона, а о фактической сопротивляемости воздействию замораживания бетона, классифицированной по циклам морозостойкости.

Основываясь на многочисленных испытаниях на морозостойкость бетона по первому базовому методу и измерениях объемных деформаций, проведенных специалистами лабораторий ВНИИжелезобетона, ЦМИПК-испытания, лабораторией № 458 Министерства обороны СССР, были установлены соответствующие соотношения [10], которые вошли в ГОСТ 10060.3–95 и графически представлены на рис. 2.

Благодаря принятию ГОСТ 10060.3–95 отечественная строительная индустрия обладает методом ускоренного, за 3–4 ч, определения морозостойкости тяжелых и легких бетонов, тротуарных и фасадных плиток, бордюрных камней на образцах-кубах 100×100×100 мм, кернах 70×70 и 100×100 мм, отобранных из эксплуатируемых конструкций, и плитках 100×100×S мм.

Dilatометрический метод определения морозостойкости бетона может применяться в лабораториях предприятий стройиндустрии и промышленности сборного и монолитного железобетона, в подразделениях научно-исследовательских и технологических институтов и сертификационных центров строительного комплекса России.

Отдельным направлением развития dilatометрического метода являются измерения объемных деформаций

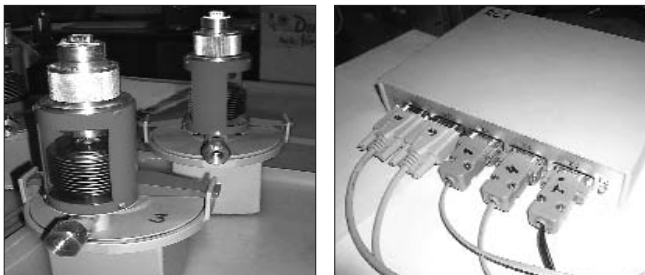


Рис. 1. Общий вид камер и контроллера

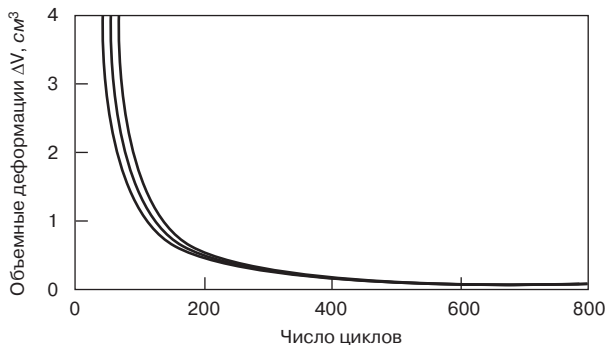


Рис. 2. Корреляция значений объемной деформации и морозостойкости в циклах, определенной по первому базовому методу

ций бетона, морозостойкость которого соответствовала требованиям дорожных и аэродромных покрытий. Стандартом ГОСТ 10060.0–95 разрешено для экспрессного определения морозостойкости бетона дорожных и аэродромных покрытий dilatометрическим методом по ГОСТ 10060.3–95 установить соотношение со вторым базовым методом ГОСТ 10060.2–95. Ряд организаций самостоятельно применительно к маркам бетона дорожных и аэродромных покрытий провели сопоставительные испытания многократного замораживания и оттаивания в 5%-ном водном растворе хлористого натрия (ГОСТ 10060.2–95) с одноразовым определением объемных деформаций dilatометрическим методом по ГОСТ 10060.3–95.

ТОО «Стройтехнолог» (г. Южно-Сахалинск) первым выполнило такую работу в 1996 г. Подбор и оптимизацию составов бетонов аэродромных покрытий в Южно-Сахалинском аэропорту проводили с помощью dilatометрического метода, скоррелированного с испытаниями на морозостойкость с базовым методом по ГОСТ 10060–87. Показатели морозостойкости бетона получали одновременно с его прочностными показателями, что ни одним ранее применяемым методом достичь было невозможно.

При измерении объемных деформаций одним из важнейших методологических вопросов являлся выбор среды насыщения образцов: 5% водный раствор хлористого натрия или вода. Для этого разработчиками метода совместно с ОАО «ЦНИИС» были проведены сопоставительные dilatометрические измерения бетонов трех составов, насыщенных в воде и 5% раствором хлористого натрия.

Данные свидетельствовали о том, что объемные деформации водонасыщенных образцов в 1,5–2 раза выше, чем у образцов, насыщенных 5% водным раствором хлористого натрия. Это обусловлено тем, что солевой раствор полностью не замерзает при температуре испытания –18°C.

В связи с этим было признано целесообразным при dilatометрических измерениях бетонов дорожных и аэродромных покрытий насыщать образцы водой [11].

При обработке экспериментальных данных по объемным деформациям образцов бетонов дорожных покрытий различных составов и соответствующей им морозостойкости марок F150–F400 (рис. 3), определенной по второму базовому методу, использовалась система STATGRAPHICS PLUS V5.

Опыт прогнозирования морозостойкости строительных материалов на основе dilatометрического метода подтвердили возможность его применения для изделий с требованиями по первому базовому методу (ГОСТ 10060.1–95) и по второму базовому методу (ГОСТ 10060.2–95) на различных стадиях строительства и эксплуатации бетонных конструкций и сооружений:

– при разработке состава бетонов научно-исследовательскими и производственными организациями [10, 11];

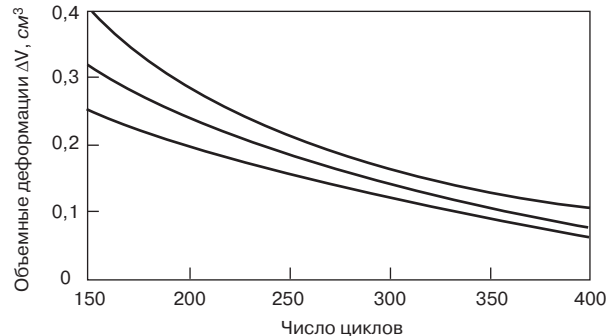


Рис. 3. Корреляция значений объемной деформации и морозостойкости в циклах, определенной по второму базовому методу

- при оперативном контроле выпускаемого бетона [13, 14];
- при отборе проб во время укладки бетона [13, 14];
- при контроле морозостойкости бетона эксплуатируемых конструкций, плитки, дорожного и аэродромного покрытия, бордюрного камня и др. [14].

В настоящее время ГОСТ 10060.3–95 «Бетоны. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости» применяется в организациях различного профиля, которые оснащены приборами ДОД-100:

- в испытательных лабораториях заводов ЖБИ и мостоотрядов от г. Южно-Сахалинска до Калининграда;
- на кафедрах строительных материалов вузов Санкт-Петербурга, Перми, Оренбурга, Тюмени, Новосибирска, Владикавказа, Белгорода;
- в научно-исследовательских организациях (ИркутскгипродорНИИ, УралНИИстрой, Тюменский филиал СоюздорНИИ, ЦНИИС);
- в организациях производителя отделочных материалов («Архикамень», Московская обл.);
- в контрольных организациях (Амурдорконтроль, г. Благовещенск; управление автомобильных дорог Свердловской области; ГАСМА, Москва; Алтайдорконтроль, г. Барнаул).

Представленные возможности дилатометрического метода, десятилетняя практика прогнозирования морозостойкости различных бетонов, постоянное расширение числа организаций, оснащенных приборами ДОД, свидетельствуют о том, что в XXI веке дилатометрический метод займет достойное место при прогнозировании морозостойкости строительных материалов.

#### Список литературы

1. Белелюбский Н.А. Однообразные испытания строительных материалов. Мюнхен. 1884. Дрезден. 1887. СПб.: Типография Министерства путей сообщения. 1888.
2. Алексеев С.Н. Установка для ускоренного испытания морозостойкости. Труды НИИЖБ. Вып. 12. 1959. С. 113–124.
3. Гладков В.С., Иванов Ф.М., Рояк Г.С. Ускоренный метод испытания бетонов на морозостойкость // Защита строительных конструкций от коррозии. 1966. С. 216–225.
4. Иванов Ф.М., Гладков В.С., Виноградов О.А. Определение морозостойкости бетона ускоренным методом. Л.: Энергия. 1969. 57 с.
5. Подвальный А.М. О концепции обеспечения морозостойкости бетона в конструкциях зданий и сооружений // Строит. материалы. 2004. № 6. С. 4–6.
6. Горчаков В.И., Меркин А.П., Левин С.Н., Дикун А.Д. Низкотемпературная дилатометрия – экспрессный метод определения МРЗ: Сб. Долговечность конструкций из автоклавных бетонов. Таллин, 1979. С. 108–112.
7. Горчаков Г.И., Меркин А.П., Левин С.Н., Дикун А.Д. Ускоренное прогнозирование морозостойкости ячеистых бетонов на основе низкотемпературной дилатометрии // Бетон и железобетон. № 9. 1975. С. 11–12.
8. Долгополов Н.Н., Дикун А.Д., Суханов М.А., Фишман В.Я. Ускоренное определение морозостойкости строительных материалов // Строит. материалы. 1995. № 8. С. 12–13.
9. Красновский Б.М., Дикун А.Д., Суханов М.А., Фишман В.Я. Экспрессное определение морозостойкости строительных материалов дилатометрическим методом: Сб. МАИ, вып. 1. 1995.
10. Дикун А.Д., Фишман В.Я., Нагорняк И.Н., Тюрина Т.Е. Прогнозирование морозостойкости бетонов // Строит. материалы. 2003. № 11. С. 28–30.
11. Дикун А.Д., Фишман В.Я., Дикун В.Н., Нагорняк И.Н. Развитие отечественного дилатометрического метода прогнозирования свойств бетона // Строит. материалы. 2004. № 4. С. 52–56.
12. Дикун А.Д., Фишман В.Я., Нагорняк И.Н., Тюрина Т.Е., Алексеев А.В. Экспрессное определение морозостойкости бетонов дорожных покрытий дилатометрическим методом // Проектирование и строительство в Сибири. 2002. № 1. С. 31–34.
13. Алексеев А.В., Дикун А.Д., Фишман В.Я., Дикун В.Н. Опыт экспрессного определения морозостойкости бетона транспортных сооружений // Строит. материалы. 2005. № 8. С. 55–57.
14. Дикун А.Д., Фишман В.Я., Нагорняк И.Н., Тюрина Т.Е., Алексеев А.В. Экспрессное определение морозостойкости бетонов дорожных покрытий дилатометрическим методом // Нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве. 2001. № 6.

## Прибор для экспрессного определения морозостойкости бетона

ГОСТ 10060.3–95 «Бетоны. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости» распространяется на бетоны с требованием по морозостойкости по первому базовому методу в пределах F100–F1000.

Изменения №1 ГОСТ 10060.3–95 распространяются на тяжелые бетоны с требованием по морозостойкости по второму базовому методу в пределах 150–400 циклов. Дифференциальные объемные дилатометры выпускаются в двух модификациях. В двухкамерном приборе ДОД-100К в одной камере установлен эталонный образец, а в другой – измеряемый. В четырехкамерном приборе ДОД-100К/3 в одной камере эталонный образец, а в других три образца, измеряемых одновременно. Данные в процессе измерения вводятся через контроллер в компьютер и представляются на экране в графическом виде. Для охлаждения используется морозильный прилавок (парь).

Дилатометрический метод предназначен для определения морозостойкости тяжелых и легких бетонов, бетонов дорожных и аэродромных покрытий, тротуарной и фасадной плиток, бордюрных камней на образцах: куб – 100×100×100 мм; керн – 70×70 мм, 100×100 мм, отформованных или взятых из эксплуатируемых конструкций.

#### Характеристики ДОД-100К (ДОД-100К/3)

Внутренние размеры камер, мм	105×105×105
Диапазон температуры, °С	–18 – +20
Продолжительность цикла измерения, ч	3–4
Чувствительность	10 <sup>-5</sup>

Прибор ДОД разработан в блочном исполнении с пятиканальным контроллером. Это дает возможность пользователю прибора ДОД-100К при необходимости доукомплектовать до модификации ДОД-100К/3.

По желанию укомплектовывается компьютерной системой управления на базе процессора Pentium 4.

В настоящее время экспрессный дилатометрический метод определения морозостойкости строительных материалов используется в различных регионах России.

**Подробнее читайте в журнале «Строительные материалы» №11-2003 г., стр. 28–30; №4-2004 г., стр. 52–56; №8-2005 г., стр. 55–57, №7-2007 г., стр. 54–56.**

Академия ГАСИС, лаборатория ЦМИПК-испытания

Тел./факс: (495) 684-43-58, тел.: (495) 684-59-20. А.Д. Дикун, В.Я. Фишман

РЕКЛАМА

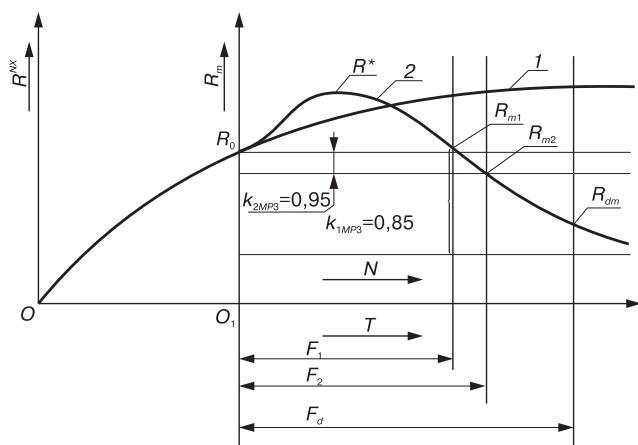


В.И. КОЛОМИЕЦ, ст. науч. сотр., зав. лабораторией, ДальНИИС РААСН,  
Л.В. КИМ, канд. техн. наук, Дальневосточный государственный  
технический университет (Владивосток)

## Морозостойкость и абразивная стойкость бетона для ледостойких опор нефтегазопромысловых платформ

Нефтегазопромысловые платформы, установленные в 2005 г. на месторождениях Пильтун-Астохском и Лунском по проекту «Сахалин-2» на глубинах 30 и 50 м, имеют железобетонные основания. Известно, что при воздействии льда на сооружения вертикального профиля разрушение ледяных полей происходит путем периодического скола и сдвига его фрагментов. Циклический характер изменения ледовой нагрузки создает опасные режимы нагружения сооружения и его элементов с точки зрения усталостных повреждений и абразивного изнашивания бетона в зоне переменного уровня температуры от сравнительно умеренных нагрузок большой повторяемости. Для защиты от износа на четырех опорах диаметром 12 м данных сооружений были смонтированы пояса из стального листа высотой 10 м в зоне ледовых воздействий стоимостью 10 млн USD. Использование высокопрочного износостойкого бетона могло бы дать значительный экономический эффект.

В процессе строительства оснований в 2004–2005 гг. лаборатория долговечности бетона ДальНИИС при участии сотрудников Дальневосточного государственного технического университета (ДВГТУ) и ООО «НПО «Гидротекс» выполнила по заказу «Aker Kværner» (Норвегия) контроль свойств бетона при изготовлении железобетонных оснований. В 2006 г. по госконтракту с Роснаукой выполнены НИОКР по подбору составов износостойкого и морозостойкого бетона для гидротехнических сооружений в замерзающих морях на базе мобильной испытательной лаборатории, которая использовалась при строительстве оснований, и климатокмеры НПО «Гидротекс». На кафедре гидротехники ДВГТУ выполнены теоретико-экспериментальные работы, включающие исследование особенностей



Кривые деградации бетона при воздействии ЗТП: 1 –  $R_{мх} = f(T)$ ; 2 –  $R_m = \varphi(N)$ . Здесь  $R_{m1}$  и  $R_{m2}$  – допустимое уменьшение прочности,  $R_{dm}$  – деградационная прочность, определяющая момент начала слияния локальных трещин в магистральные,  $F_1$  и  $F_2$  – морозостойкость по ГОСТ 10060–86 и 10060–95 соответственно

экстремальных воздействий ледяного покрова на сооружения портов и континентального шельфа, идентификацию режимов нагружения сооружений, механизмов истирающего воздействия ледяного покрова, проведено математическое моделирование механического взаимодействия полей с сооружениями.

Предметом исследований является система управления качеством испытаний и изготовления бетона при строительстве железобетонных сооружений, технология изготовления износостойкого гидротехнического бетона, разработка организационной схемы сопровождения передачи и внедрения технологии малому предприятию.

ДальНИИС РААСН являлся ответственным исполнителем по контролю качества бетона при возведении нефтегазопромысловых железобетонных платформ по проекту освоения шельфа «Сахалин-2». Подобное сооружение в России возведено впервые. Надежность и безопасность возведенных гидротехнических сооружений определена повышенными проектными требованиями к бетону: маркой по водонепроницаемости W20, классом по прочности при сжатии не менее B45 и маркой по морозостойкости F500. Основной объем выполненных работ по оценке морозостойкости бетона осуществлялся по методикам ГОСТ 10060–95, в соответствии с которыми допустимый уровень снижения прочности принят для всех исследованных составов бетона постоянным и равным 5%.

С помощью физико-математического и термодинамического анализов экспериментальных данных по накопленному разрушению в исследуемой структуре получена математическая модель прочности бетона при воздействии знакопеременных температурных полей (ЗТП). На примере полученных экспериментальных данных приводится анализ кинетики разрушения бетонов.

Необходимо отметить, что резкая асимметричность функции прочности  $R^m = \varphi(N)$  в начальный момент циклического воздействия служит подтверждением неприменимости процедуры разложения этих функций в ряды, как это делается в большинстве аналитических методов (см. рисунок). Функция прочности бетона при воздействии ЗТП имеет экстремум. В работе [1] показано, что образование в начальный момент воздействия ЗТП высокоэнергетического крыла функции прочности бетона указывает на существенное влияние кроме дальнейшей гидратации цемента схлопывание дислокационных дыр. Этот эффект усиливает конструктивный процесс.

Математическая модель представляет собой функцию отклика физической системы бетон от воздействия ЗТП. ЗТП трансформируют циклический массоперенос в бетоне. Нестационарные тепловые процессы всегда связаны с изменением внутренней энергии, которая является причиной изменения физико-механических параметров самого материала. Следовательно, изменение влажности в теле бетона при воздействии ЗТП будет подчиняться гармоническому закону. В работе [1] показано, что основой анализа предельно допустимых напряжений является от-

Таблица 1

Количество циклов	Прочность, $R_{сж}$ , МПа				
	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_{sr}^3$	$R^p$
0	76,7	73,1	76,2	75,33	75,33
100	84,7	86,3	87,8	86,27	85,85
250	81,2	84,7	85,7	83,87	83,78
300	80,2	83,1	81,6	81,63	82,35
400	80,3	76,4	81,7	79,47	79,01
500	72,6	77,4	78,2	76,07	75,33
600	68,8	74,5	70,3	71,2	71,46

клик исследуемой структуры материала на воздействие ЗТП. Поэтому изменение прочности бетона будет подчиняться затухающей функции гармонического ряда.

Представления о механизме разрушения сплошных сред позволяют констатировать, что в формировании картины разрушения большая роль принадлежит первичным дефектам, которые запоминаются на стадии твердения, а энергетические условия развития деструктивных процессов формируются с учетом имеющихся дефектов [2].

Следовательно, кинетика формирования деструктивных процессов должна быть пропорциональна начальной прочности до момента воздействия ЗТП, а сама математическая модель должна формулировать гармонический закон затухающего характера.

Кинетика прочности бетона в ЗТП имеет апериодический характер (см. рисунок). Ее скорость проходит через ноль, после чего начинает уменьшаться. Учитывая физико-механические параметры полученных экспериментальных данных, можно предположить, что кинетика изменения прочности бетона в ЗТП будет пропорциональна прочности бетона перед началом замораживания-оттаивания:

$$R^m = k_{мрз} \cdot R_0 \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности при апериодическом процессе выравнивающих функций описывается

экспоненциальной зависимостью (см рисунок). Одновременно эта зависимость должна учитывать протекание двух противоположных процессов – деструктивного и конструктивного, а также периодический характер воздействия импульса сил ЗТП. С учетом указанных особенностей кинетику накопления деструкций в структуре материала можно представить в следующем виде:

$$R^m = R_0 \cdot [e^{a \cdot N^{0,5}} \cdot e^{-b \cdot N} \cdot e^{c \cdot \sin(\alpha \cdot N_n^{0,5})}], \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – коэффициенты, количественно выражающие скорость протекания деструктивного и конструктивного процессов в гармоническом поле знакопеременных температур;  $\alpha = \omega \cdot N_n^{0,5}$  – аргумент периодической функции;  $N_n^{0,5}$  – проектное (максимальное) количество циклов.

При контроле морозостойкости бетона возводимых сооружений параллельно с базовой методикой использовался способ предельно допустимых напряжений (ПДН).

При рассмотрении системы вектор-объект возможно количественно оценить кинетику изменения структуры в исследуемом объекте путем математического описания в экспериментах. Это позволяет управлять структурой бетона, результативно вести поиск по ее совершенствованию в конструкциях на основе более совершенного и физически обоснованного критерия ПДН. Отличительной особенностью ПДН является кинетический самоконтроль параметров исследуемой структуры, заложенный в самой математической функции (2).

При использовании алгоритма вычислены по специальной программе структурные коэффициенты формулы (2), описывающей полученные экспериментальные данные (табл. 1). Расчетные значения отличаются от экспериментальных менее чем на 1%. Такая зависимость считается функциональной, и дальнейший анализ исследуемого процесса можно вести, используя математическую модель на любом кинетическом этапе:

$$R^m = 75,33 \cdot \exp[0,0233 \cdot N^{0,5} - 0,00288 \cdot N + 0,00288 \cdot \sin(0,257 \cdot N_n^{0,5})]. \quad (3)$$

Полученная функция (3) кинетики прочности при воздействии ЗТП имеет экстремум после 119 циклов. Прочность повысилась на 14% по сравнению с начальной. Снижение прочности на 5% достигло после  $N = 597$  циклов. По предельно допустимому уровню снижение прочности по

Таблица 2

Количество циклов $N$ , ц	Прочность при сжатии, $R_{сж}$ , МПа	Скорость изменения прочности $V$ , МПа/ц	Вторая производная функции (4) ( $R''$ )	Количество циклов $N$	Прочность при сжатии, $R_{сж}$ , МПа	Скорость изменения прочности $V$ , МПа/ц	Вторая производная функции (4) ( $R''$ )
0	75,333	2,8142	-2,836037	115	85,915	0,0015	-0,000413
1	77,085	1,7517	-1,949263	116	85,916	0,0011	-0,000407
2	77,774	0,6892	-1,06249	117	85,917	0,0007	-0,000402
3	78,288	0,5135	-0,175717	118	85,917	0,0003	-0,000396
4	78,71	0,4222	-0,091304	119	85,917	-0,0001	-0,000391
5	79,074	0,3637	-0,05856	120	85,916	-0,0005	-0,000385
6	79,396	0,3219	-0,041744	121	85,916	-0,0008	-0,00038
7	79,686	0,2902	-0,03174				
8	79,951	0,265	-0,025212	596	71,621	-0,0391	-0,000008
9	80,195	0,2443	-0,020672	597	71,582	-0,0392	-0,000008
10	80,422	0,2269	-0,017362	598	71,543	-0,0392	-0,000008
713	67,005	-0,0396	-0	715	66,926	-0,0396	+0
714	66,965	-0,0396	-0	716	66,886	-0,0396	+0

предложенному способу установилось после 715 циклов. При этом снижение прочности достигло 11,2%, то есть увеличилось в 2,24 раза.

Сложность решения проблемы долговечности бетона заключается в том, что накопление деструктивных процессов зависит от множества факторов. Комбинаторный анализ с учетом напряженного состояния показывает, что уже при 25 важнейших факторах и 5 интенсивностях каждого из них число возможных сочетаний достигает порядка  $2,98 \cdot 10^{17}$ . Поэтому совершенствование методов оценки морозостойкости материалов в значительной степени определяется использованием информации о влиянии различных факторов. Для получения такой информации необходима обоснованная математическая модель накопления деструкций. Ее реализация должна осуществляться в автоматизированной многофункциональной информационной системе оценки качества и долговечности материалов.

Механизм разрушения бетона при замораживании-оттаивании можно смоделировать следующим образом. На первой стадии знакопеременные температурные воздействия приводят к накоплению остаточных деформаций и возникновению внутренних напряжений ( $\mathfrak{R}_T$ ) в теле бетона. Вследствие высокой неоднородности в местах дефектности структуры возникают касательные напряжения, вызывающие пластические деформации в цементном камне. Если структура бетона стойкая, то при начальных циклах замораживания-оттаивания идет перераспределение изначальной (технологической) неоднородности в структуре материала. Пластические деформации, выравнивая неоднородность напряжений внутреннего поля, существенно снижают локальные концентрации напряжений и изначальную дефектность структуры. На этой стадии внешние воздействия являются фактором самосовершенствования структуры и упрочняют ее ( $R_T > \mathfrak{R}_T$ ).

Чем выше стойкость исследуемой структуры материала, тем глубже протекают конструктивные процессы, прочность бетона достигает своего максимального значения  $R^*$  (см. рисунок).

Когда сумма внутренних напряжений  $\mathfrak{R}_T \cong \Sigma \sigma_b$  достигает величины, превышающей предел прочности данного материала ( $R_T < \mathfrak{R}_T$ ), в местах концентрации напряжений в результате сдвига образуются поверхности скольжения с нарушенными связями – местами зарождения микротрещин – это начало локального трещинообразования. С ростом напряжений зона нарушенных связей увеличивается, образуя микроскопические локальные трещины, растущие до критических размеров. На этом этапе хотя и превалирует деструктивный процесс, но он обратим до тех пор, пока не начнется слияние локальных трещин в магистральные.

После того как во многих местах возникли подобные трещины ( $R_T \leq \mathfrak{R}_T$ ), наступает вторая стадия, характеризующаяся постепенным превалированием деструктивного процесса над конструктивным ( $R_T < \mathfrak{R}_T$ ). В этот момент зарождаются магистральные трещины, и начинается нарушение цельности структуры, идет разделение материала на отдельные блоки, границей которых и являются магистральные трещины. Этому состоянию структуры соответствует деструктивная прочность материала  $R_d$ , ниже которой разрушение приобретает необратимый характер и с этого момента начинается 3-й период. На этом этапе протекает нарушение цельности структуры материала путем деления магистральными трещинами общего объема исследуемого объекта на отдельные блоки. Длительность его определяется из равенства:

$$\frac{[R_m(N)]^2}{R_m(N)} - \frac{R_m(N)}{4} \cdot \left[ \frac{a}{\sqrt{N^3}} + c \cdot \omega \cdot \left( \frac{\cos(\omega \cdot \sqrt{N})}{\sqrt{N^3}} + \frac{\omega \cdot \sin(\omega \cdot \sqrt{N})}{\sqrt{N}} \right) \right] = 0. \quad (4)$$

Очевидно, что каждая стадия структурного изменения характеризуется соответствующими физико-механическими показателями: прочностью, плотностью, деформативностью, трещиностойкостью и т. д. При этом, если уровень возникающих напряжений недостаточен для движения трещин, то есть  $R_0 \cong \mathfrak{R}_T$ , то падение прочности замедляется и может приостановиться. В этот период определяющим является созидательный процесс. Момент достижения деструктивной прочности, при котором необратимо наступает образование магистральных трещин, является предельным уровнем допустимых напряжений для данной структуры –  $F_d$ . Очевидно, что в этот момент уровень напряжений в бетоне достигает значения  $\mathfrak{R}_T > R_T$ . Наступает состояние, когда определяющим является необратимая деструкция.

В табл. 2 приведены некоторые результаты решения численным методом дифференциального уравнения (4). Значение второй производной после 714 циклов имеет положительный знак, а при 715 циклах знак поменялся на противоположный. Функция, выражающая количественное значение деструктивной прочности исследуемой структуры, перешла через ноль. Это указывает на развитие необратимых процессов в разрушении исследуемой структуры материала.

Восстановительные (конструктивные) процессы в структуре бетона определяются дислокационным механизмом [2] уменьшения размеров дефектов. Предложенная математическая модель описывает качественные изменения структуры исследуемого материала количественными параметрами в реальном времени [3]. На основе предложенной модели разработана автоматизированная многофункциональная информационная система оценки качества и долговечности строительных материалов – АМИС КДСМ [4].

Оценка долговечности (морозостойкости) осуществляется в автоматическом режиме кинетики накопления деструктивных процессов в теле материала с учетом предельного уровня допустимых напряжений индивидуально в каждой исследуемой структуре материала.

Необходимо отметить, что представленные разработки могут быть полезными при решении многих вопросов, связанных с возведением глубоководных гидротехнических платформ из монолитного бетона. Высокий класс бетона по прочности при сжатии В45–В60 и проектная марка по морозостойкости не ниже F500 требуют соответственно более совершенных методов контроля, способов расчета и оптимизации рецептур бетона. Разработанная АМИС КДСМ позволяет решать широкий круг задач: вести контроль кинетики прочности бетона в автоматическом режиме, осуществлять оптимизацию рецептуры бетона, корректировать оптимальность введения химических и минеральных добавок в бетоны, создавать банк данных, выполнять подборы составов бетона с учетом агрессивного воздействия, контролировать параметры долговечности материала на любом этапе нагружения.

#### Список литературы

1. Коломиец В.И. Моделирование момента предельных разрушений при оценке морозостойкости бетона // *Материалы XXIII Международной конференции в области бетона и железобетона*. М., 1991. С. 84.
2. Екороби Т. *Физика прочности твердых тел и механика разрушения*. М., 1971.
3. Коломиец В.И., Коломиец И.В., Полудова С.В., Селиванов В.Н. Способ определения морозостойкости строительных материалов. Пат. RU. 2064674 // *Опублик.* 27.07.1996. БИ № 35.
4. Коломиец В.И. Устройство для испытания строительных материалов на морозостойкость Пат. RU 511 1609297 // *Опублик.* 10.08.1996. БИ № 16.

## Завод мощностью 60 млн шт. условного кирпича в год будет построен в поселке Копылово Томской области.



Канал печи на выходе



Фильера для поризованных блоков

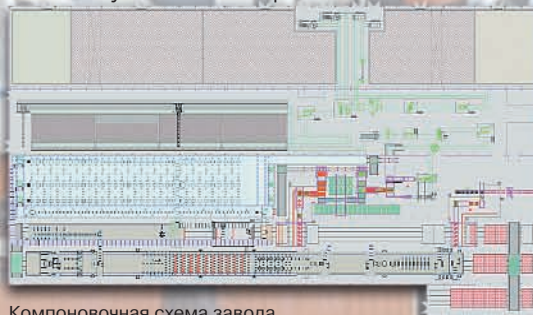


Зона садки на печные вагоны



Зона обжига. Внешний путь печи

8 июня 2007 года в г. Томске состоялось подписание контракта между ОАО «Копыловский керамический завод МПО» и группой **PICCININI - ИНКЕРАМ** на поставку технологической линии для нового завода по производству керамических стеновых материалов мощностью 60 млн шт. условного кирпича в год.



Компоновочная схема завода

Среди предполагаемого для производства ассортимента продукции не только привычные для региона строительный полнотелый кирпич и лицевой кирпич разных типоразмеров, но и поризованные блоки стандартного и крупного формата. Этот перспективный тип строительных материалов очень широко и успешно применяется за рубежом, а в России его освоение только начинается. Новая технологическая линия будет оснащена самым современным оборудованием итальянских фирм **PICCININI-COSMEC-BONGIOANNI** с полностью автоматизированным производственным циклом. Технологический процесс предусматривает предварительную подготовку сырья с последующим пластическим формованием, сушку в туннельной сушилке и обжиг в туннельной печи.

Вывод завода на производственную мощность намечен на конец 2008 года.



Свод печи. Зона быстрого охлаждения



Глинорастиратель



Прессовый агрегат



Многострунный резак

И.Ю. ЕВСТИФЕЕВА, инженер, Е.В. КОРОЛЕВ, д-р техн. наук, советник РААСН, Н.И. МАКРИДИН, д-р техн. наук, советник РААСН, С.И. ЕГОРОВ, канд. техн. наук, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

## Предельные состояния структуры серных композитов

В настоящее время большое внимание уделяется созданию и изучению свойств эффективных и долговечных строительных материалов, изготовленных на основе серы [1, 2]. В технологии таких материалов малоизученным свойством является трещиностойкость.

Кристаллизация серы сопровождается уменьшением объема на 14,1%, что приводит к возникновению внутренних напряжений, которые, суммируясь с эксплуатационными воздействиями и нагрузками, являются причиной образования структурных дефектов и снижения качества материала. Уменьшение величины внутренних напряжений наблюдается при образовании равномерно распределенной поровой структуры. Поры, оказывая положительное влияние на напряженное состояние серных композитов, являются источниками накопления дислокаций,

обеспечивающих пластическое деформирование материала. Частицы наполнителя не только увеличивают концентрацию дислокаций вследствие образования дислокационных петель, но и тормозят их перемещение и развитие пластических деформаций [3]. При изменении длины или уничтожении дислокаций выделяется энергия, переходящая в энергию упругих волн, распространяющихся в материале, — акустическая эмиссия (АЭ):

$$W_{АЭ} = \Delta l_d G b^2, \quad (1)$$

где  $\Delta l_d$  — изменение длины дислокации;  $G$  — модуль сдвига;  $b$  — вектор Бюргера.

Акустическая эмиссия имеет низкочастотную составляющую, характеризующую развитие микро- и макротрещин, и высокочастотную составляющую, источником которой является накопление и движение дислокаций [4].

Главной особенностью тел с дефектами является концентрирование напряжений около дефектов. Поэтому при нагружении тел с дефектами в зоне концентраторов напряжений происходит пластическая деформация, деформационное упрочнение и разрушение.

Исследование предельного состояния структуры серных композитов на различных наполнителях оптимальных по прочности составов (табл. 1) проводили с применением метода акустической эмиссии.

Прочность композиционных материалов является интегральным показателем качества структуры, который зависит от ряда рецептурно-технологических факторов. Для оценки влияния отдельных факторов на прочность серных композиционных материалов разработано несколько критериев, характеризующих химическую активность наполнителя, однородность распределения фаз,  $h_s/d_f$ -отношение и др. [1, 2]. При этом другие рецептурно-технологические факторы учитываются только косвенно. Определить совокупное влияние физико-химических

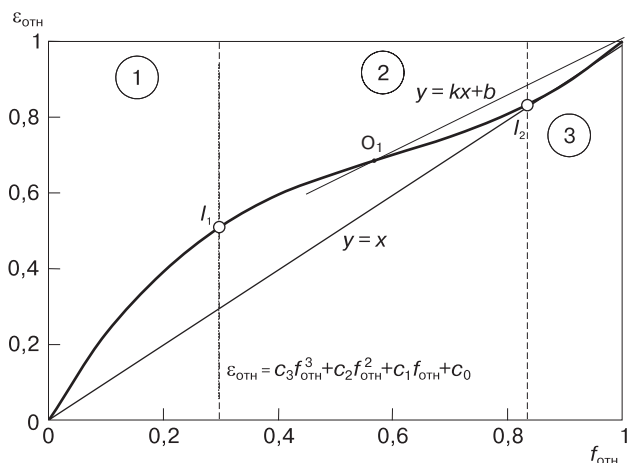


Рис. 1. Схема обработки экспериментальных данных

Таблица 1

Удельная поверхность, $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	Оптимальная степень наполнения $V_{f,opt}$	Диаметр частиц наполнителя $d_f$ , мкм	Толщина прослойки серы между частицами наполнителя $h_s$ , мкм	Свойства		
				Общая пористость $P_{общ}$ , %	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ , МПа	Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ , МПа
Мраморная мука						
200	0,35	11,11	3,15	7,1	28,5	5,5
300	0,3	7,41	2,6	10,9	27	5,2
530	0,25	4,19	1,83	12,7	26	4,2
Кварцевая мука						
180	0,4	12,57	2,86	8,2	30,5	5,5
300	0,35	7,55	2,14	8,8	32	5
420	0,3	5,39	1,89	9,9	36,5	4,8

Таблица 2

$S_{уд}, \text{м}^2/\text{кг}$	$v_f$	Внутренние напряжения, МПа		$k_{hf}$	$h_s d_f^{-1}$	$k_{hom}$	$k_\sigma$	$k_R$
		$\sigma_t$	$\sigma_r$					
Мраморная мука								
200	0,35	+0,15	-0,16	2,5	0,28	0,78	1,1	0,6
300	0,3	+0,21	-0,26	1,73	0,35	0,7	5,3	0,11
530	0,25	+0,65	-0,94	1,11	0,44	0,65	28,7	0,02
Кварцевая мука								
180	0,4	+0,58	-0,53	0,75	0,23	0,77	5	0,07
300	0,35	+0,81	-0,88	1,03	0,28	0,75	6,7	0,06
420	0,3	+1,18	-1,48	1,42	0,35	0,72	30,1	0,02

Примечание. Знаком «-» обозначаются сжимающие напряжения, знаком «+» – растягивающие напряжения.

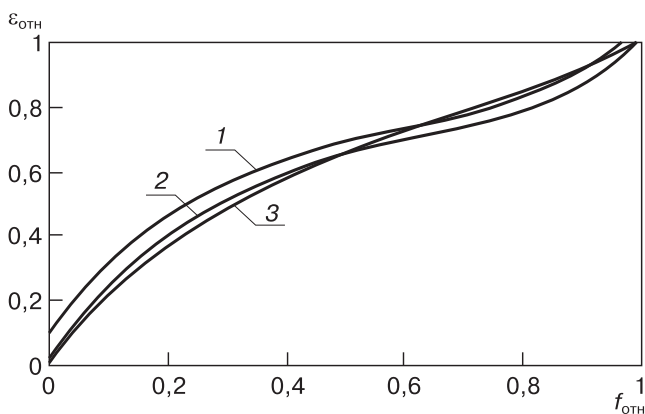


Рис. 2. Диаграмма деформация-нагрузка серного композита на кварцевой муке: 1 – кварцевая мука с  $S_{уд}=180 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 2 – то же с  $S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 3 – то же с  $S_{уд}=420 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Аналогичные зависимости получены для композитов на мраморной муке

процессов, происходящих при структурообразовании, и учесть особенности технологии изготовления материала, а также его напряженное состояние возможно обобщенным критерием качества структуры:

$$k_R = k_{hf} k_{hom} k_\sigma^{-1} \frac{h_s}{d_f}, \quad (2)$$

где  $k_{hf}$  – коэффициент химической активности наполнителя [2];  $k_{hom}$  – критерий, характеризующий однородность распределения фаз [2];  $k_\sigma$  – коэффициент внутренних напряжений, рассчитываемый по формуле:

$$k_\sigma = \sigma_r \sigma_{r,\min}^{-1} + \sigma_t \sigma_{t,\min}^{-1};$$

здесь  $\sigma_r, \sigma_t$  – соответственно внутренние напряжения, возникающие в радиальном и тангенциальном направлениях;  $\sigma_{i,\min}$  – минимальные значения внутренних напряжений, в работе приняты равными 0,01 МПа.

Коэффициент  $k_\sigma$  рассчитан по данным, полученным с применением разработанного программного комплекса, в основу которого положена структурная модель композиционного материала в виде зерна наполнителя сферической формы, окруженного слоем серы. При расчете внутренних напряжений (табл. 2) учитываются теплофизические свойства компонентов и неравномерность распределения температуры по сечению модели при охлаждении.

Сопоставление данных табл. 1 и 2 указывает на наличие устойчивой корреляционной зависимости между прочностью при изгибе и  $k_R$ . На значения обобщенного критерия качества структуры значительное влияние оказывает напряженное состояние материала: с увеличением дисперсности наполнителя величина внутренних напряжений возрастает (табл. 2).

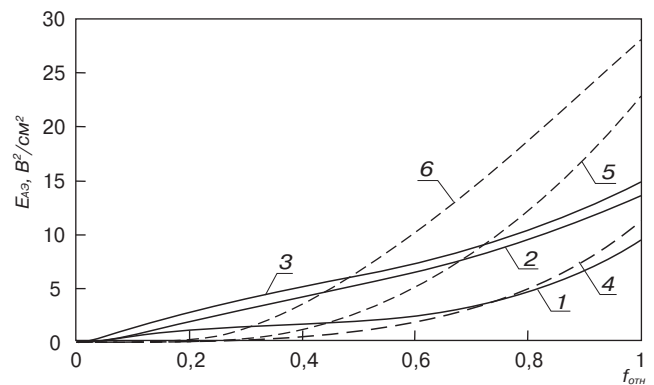


Рис. 3. Энергетические параметры АЭ: 1 – кварцевая мука с  $S_{уд}=180 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 2 – то же с  $S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 3 – то же с  $S_{уд}=420 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 4 – мраморная мука с  $S_{уд}=200 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 5 – то же с  $S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 6 – то же с  $S_{уд}=530 \text{ м}^2/\text{кг}$

Трещиностойкость серных композитов оценивали по вязкости разрушения при неравновесных механических испытаниях в соответствии с ГОСТ 29167–91 для образцов типа I. Механические испытания проводили на разрывной машине типа FM-1000 с одновременной регистрацией прогиба образца с помощью индикатора часового типа и сигналов акустической эмиссии в полосе частотного диапазона 50–150 кГц. Дополнительно контролировали амплитуду сигналов и энергию акустической эмиссии.

Для анализа диаграмм деформация – нагрузка и вычисления силовых и энергетических параметров деформирования предложена следующая методика. По экспериментальным данным в относительных координатах  $[f/f_{max}, \epsilon/\epsilon_{max}]$  строят график зависимости  $f_{отн} = \varphi(\epsilon_{отн})$  (здесь  $f_{отн} = f/f_{max}$  – относительная нагрузка;  $\epsilon_{отн} = \epsilon/\epsilon_{max}$  – относительный прогиб). Полученные данные (рис. 1) аппроксимируют полиномом третьей степени [5]. На графике  $f_{отн} = \varphi(\epsilon_{отн})$  определяют координаты характерных точек, являющихся границами процессов:  $I_1$  – граница пластической деформации (1) и деформационного упрочнения (2);  $I_2$  – граница деформационного упрочнения (2) и разрушения (3).

Абсциссы точек  $I_1$  и  $I_2$  определяются:

$$I_1 = \frac{-c_2 - \sqrt{c_2^2 - 3c_3(c_1 - 1)}}{3c_3};$$

$$I_2 = \frac{-c_2 + \sqrt{c_2^2 - 3c_3(c_1 - k)}}{3c_3},$$

где  $c_i$  – коэффициенты  $f_{отн} = \varphi(\epsilon_{отн})$ ;  $k$  – коэффициент прямой  $y = kx + b$  (рис. 1).

Таблица 3

$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	Значения коэффициентов				$I_1$	$I_2$	$E_{отн}$	$K_c^*$ , МПа·м <sup>0,5</sup>	$l_{max}^*$ , мм
	$c_3$	$c_2$	$c_1$	$c_0$					
Мраморная мука									
200	1,021	-1,986	1,954	0,011	0,32	0,85	0,58	0,35	0,07
300	1,884	-3,425	2,532	0,008	0,3	0,83	0,6	0,33	0,08
530	0,967	-1,742	1,738	0,036	0,27	0,83	0,6	0,25	0,1
Кварцевая мука									
180	1,867	-3,396	2,512	0,059	0,29	0,79	0,53	0,34	0,04
300	1,829	-3,254	2,41	0,019	0,29	0,82	0,6	0,32	0,07
420	1,071	-2,221	2,118	0,027	0,33	0,88	0,61	0,29	0,12

\*  $l_{max}$  – прогиб при максимальной нагрузке.

Коэффициенты  $k$  и  $b$  прямой  $y=kx+b$  равны:

$$k = \frac{\varepsilon'_{отн} - 1}{f'_{отн} - 1}; \quad b = 1 - \frac{\varepsilon'_{отн} - 1}{f'_{отн} - 1},$$

где  $f'_{отн}$ ,  $\varepsilon'_{отн}$  – координаты точки  $O_1$  (рис. 1).

Координаты точки  $O_1$  определяют из условия:

$$\frac{d^2\varepsilon_{отн}}{df_{отн}^2} = 0;$$

$$f'_{отн} = -\frac{1}{3} \frac{c_2}{c_3}; \quad \varepsilon'_{отн} = c_3 f_{отн}^3 + c_2 f_{отн}^2 + c_1 f_{отн} + c_0.$$

Можно предположить, что абсциссы точек  $I_1$  и  $I_2$  могут находиться вне диапазона  $f_{отн} \in [0, 1]$ . При  $I_1 < 0$  наблюдается упругое деформирование материала, а значение  $I_2 > 1$  свидетельствует о его катастрофическом (мгновенном) разрушении.

Относительная энергия разрушения равна:

$$E_{отн} = \int_0^1 \varepsilon_{отн} df_{отн} = \frac{1}{4} c_3 + \frac{1}{3} c_2 + \frac{1}{2} c_1 + c_0.$$

Условный критический коэффициент интенсивности напряжений по ГОСТ 29167–91 равен:

$$K_c^* = \frac{3F_c^* L_0}{2t\sqrt{b^3}} \sqrt{a_0/b(1,93 - 3,07\lambda + 14,53\lambda^2 - 25,11\lambda^3 + 25,8\lambda^4)},$$

где  $\lambda = (a_0 + a_{oi})/b$  – относительная длина начального надреза;  $b$ ,  $t$  – высота и ширина сечения образца;  $a_0$ ,  $a_{oi}$  – соответственно надрез в нижнем и верхнем поясах сечения образца;  $L_0 = 3,8b$  – расстояние между опорами;  $F_c^*$  – нагрузка, соответствующая динамическому началу движения магистральной трещины при неравновесных испытаниях.

Значение  $F_c^*$  определится:

$$F_c^* = \frac{f_{max}}{3c_3} \left[ -c_2 + \sqrt{c_2^2 - 3c_3(c_1 - k)} \right],$$

где  $f_{max}$  – разрушающее усилие.

На рис. 2 приведены диаграммы деформация–нагрузка серных материалов на мраморной и кварцевой муке.

Значения эмпирических коэффициентов, абсциссы точек  $I_1$  и  $I_2$ , относительная энергия разрушения и условный коэффициент интенсивности напряжений для исследуемых серных композитов приведены в табл. 3, а энергия АЭ – на рис. 3.

Анализ данных табл. 3 показывает, что с увеличением удельной поверхности наполнителя (для оптималь-

ных по прочности композитов степень наполнения снижается) наблюдается закономерное уменьшение значений  $K_c^*$  (на 14–29%) и смещение абсцисс точек  $I_1$  и  $I_2$  в область меньших  $f_{отн}$ . При этом увеличение количества серы приводит к повышению деформативных свойств: значения  $E_{отн}$  и  $l_{max}$  возрастают.

Различие в величинах внутренних напряжений серных композитов (табл. 2), изготовленных на исследованных наполнителях, оказывает влияние на кинетику выделения акустической эмиссии и количественное значение ее энергии (рис. 3). Для серных композитов на мраморной муке, имеющих невысокие величины внутренних напряжений, в начальный период нагружения не наблюдается выделения АЭ: начало излучения сигналов акустической эмиссии совпадает со значениями  $I_1$ . Для композитов на кварцевой муке выделение АЭ происходит во всем диапазоне приложения нагрузки и, что особенно важно, в начальный период. Это свидетельствует о наличии перенапряженных элементов, снижающих качество структуры материала и регистрируемое уменьшением величины энергии акустической эмиссии.

Таким образом, значения энергетического  $E_{отн}$  и силового  $K_c^*$  параметров процесса разрушения, полученных из диаграмм деформация–нагрузка, для оптимальных составов серных композитов на исследованных наполнителях имеют приблизительно одинаковые значения и не позволяют полно оценить предельные состояния структуры материала. Указанное справедливо и для закономерностей, устанавливаемых из диаграмм энергия АЭ–нагрузка. Только совместный анализ внутреннего напряженного состояния, диаграмм разрушения и акустической эмиссии позволяет провести достоверную оценку качества структуры композита.

#### Список литературы

1. Королев Е.В., Прошин А.П., Ерофеев В.Т. и др. Строительные материалы на основе серы. Пенза–Саранск: МГУ. 2003. 372 с.
2. Королев Е.В., Прошин А.П., Баженов Ю.М., Соколова Ю.А. Радиационно-защитные и коррозионно-стойкие серные строительные материалы. М.: Палеотип. 2004. 464 с.
3. Гегузин Я.Е. Живой кристалл. М.: Наука. 1987. 192 с.
4. Макридин Н.И., Максимова И.Н., Прошин А.П. и др. Структура, деформативность, прочность и критерии разрушения цементных композитов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. 2001. 280 с.
5. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат. 1996. 416 с.



Заводы по производству  
кирпича, поротона,  
черепицы:  
- "под ключ"  
- модернизация  
- техническая поддержка

Представительство  
"Ceric" в России:  
109028, Москва  
пер. Б. Николоворобинский, 10, оф. 37  
Тел.: +7 (495) 641-06-52  
Факс: +7 (495) 641-06-80/81  
ceric@ceric.ru  
www.ceric.ru



Самая современная технология  
для высокорентабельного  
производства





УДК 666.972:543

В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук, Р.В. ЛЕСОВИК, канд. техн. наук,  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## Количественный анализ микроструктуры композитов на основе минеральных вяжущих по РЭМ-изображениям

Структура наряду с минеральным составом является одним из основных факторов, определяющих свойства строительных материалов. Особую трудность вызывает исследование размеров различных видов пор, морфологии и взаимного расположения новообразований и реликтовых фаз, которые сложены частицами минералов микронного и субмикронного размеров и их контактов.

Достаточно мощная информационная база по морфологии чистых синтезированных минералов как исходного сырья, так и продуктов гидратации [1, 2] позволяет проводить качественную оценку структуро- и минералообразования искусственных композитов на любой стадии твердения. В то же время при условии полиминеральности систем как по исходным компонентам, так и по синтезированным (что особенно проявляется при получении материалов на основе тонкомолотых цементов (ТМЦ), вяжущих низкой водопотребности (ВНВ), грунтобетонов и т. д.) и при условии наличия значительного количества рентгеноаморфного вещества анализ материалов по изображениям рассеивающей электронной микроскопии (РЭМ) зачастую является единственно информативным и прямым. Анализ степени сформированности структуры на микроуровне достаточно успешно применяется в строительном материаловедении [3–8]. Однако количественная оценка до сих пор не получила должного распространения.

С помощью планиметрического метода микроструктурных исследований [9] возможно количественно оценить основные морфометрические показатели по РЭМ-изображениям. К ним относятся размер, форма, характер поверхности и соотношение структурных элементов, изучаемых с помощью оптических и электронных микроскопов [10].

Важным условием достоверности проведенного количественного анализа микроструктуры по РЭМ-изображениям является корректная подготовка образцов и выбор оптимальных режимов работы микроскопа.

Для оценки влияния клинкерной составляющей, пластифицирующей добавки (СБ-3) и последовательности введения компонентов на изменение микроструктуры были синтезированы образцы ТМЦ, ТМЦ + СБ-3 и ВНВ с содержанием цемента 30 и 70%.

Аналізу предшествовало тестирование микроструктуры на однородность. Результаты анализа полученных изображений позволяют утверждать, что микроструктура композитов однородна и изотропна. В связи с этим дальнейшие исследования проводились на случайных сечениях-сколах.

Результаты количественного анализа композитов на основе ВНВ и ТМЦ, полученные по одному участку, могут быть перенесены на весь образец и их можно считать достоверными, так как микроструктура синтезированных образцов однородна.

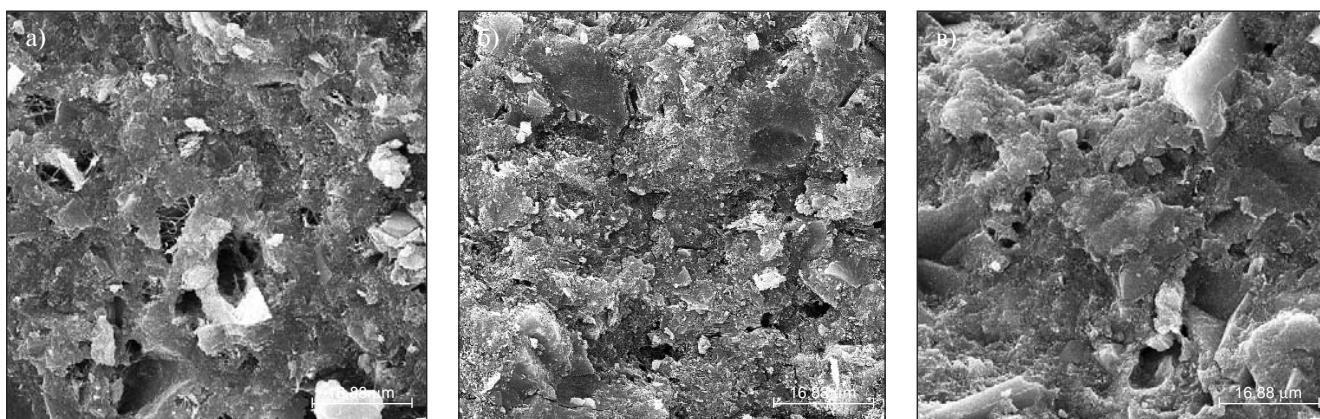
На РЭМ-изображениях четко различаются границы между частицами и порами (рис. 1), что благоприятствует проведению количественного анализа микроструктуры.

Полученные массивы данных – результаты измерений периметра, площади и формирование массивов площадей, периметров и числа пор (частиц) являлись исходными для статистической обработки. В ходе анализа были получены сведения о размере и форме структурных элементов, оценена ориентация структурных элементов в пространстве, определена пористость, удельная поверхность, а также были рассчитаны интегральные параметры микроструктуры.

С помощью специальной подпрограммы статистической обработки были построены гистограммы распределения структурных элементов по различным параметрам: эквивалентным диаметрам, площадям, суммарным площадям, периметрам, гидравлическим радиусам, коэффициенту формы; полученные зависимости коэффициента формы пор и частиц от их площади; выделены на гистограммах отдельные категории пор и определен их вклад в общую пористость изученного образца.

Таблица 1

Морфометрические параметры	ТМЦ-30	ТМЦ-70	ТМЦ-30+СБ-3	ТМЦ-70+СБ-3	ВНВ-30	ВНВ-70
Число пор, шт/ед. площади	784442	1042253	239168	1249656	533468	1483189
Пористость, %	23,2924	19,5391	19,8968	17,7523	20,5954	20,3141
Общая площадь пор, мкм <sup>2</sup>	73971,9844	56675,9531	63822,9375	53752,3594	63707,7656	59326,1719
Общий периметр пор, мкм	735033,375	880734,375	354017,25	1053275,625	551752,875	1059873,75
Среднее значение эквивалентного диаметра, мкм / дисперсия	0,1552/0,096	0,1362/0,0507	0,2292/0,2873	0,1338/0,0369	0,169/0,1235	0,1173/0,0372
Среднее значение площади, мкм <sup>2</sup> / дисперсия	0,0943/21,1558	0,0544/4,5575	0,2669/98,6585	0,043/5,0019	0,1194/87,696	0,04/8,4255
Среднее значение периметра, мкм / дисперсия	0,937/5,4025	0,845/2,6412	1,4802/21,3779	0,8429/2,1399	1,0343/7,515	0,7146/1,9677
Удельная поверхность, мкм <sup>-1</sup>	2,2155	2,6546	1,067	3,1747	1,663	3,1945



**Рис. 1.** Изменение микроstructures композитов в зависимости от состава: а – ТМЦ-70; б – ТМЦ-70+СБ3; в – ВНВ-70. Увеличение  $\times 2000$

Количественный анализ морфометрических и геометрических признаков и их интерпретация были осуществлены по образцам, обладавшим наиболее ярко выраженными особенностями микроstructures и их комбинациями. По каждому образцу была сделана серия кадров с идентичными увеличениями.

Из данных, полученных при анализе микроstructures полидисперсных образцов по РЭМ-изображениям в широком диапазоне увеличений 250–32000 раз, были определены морфометрические показатели (табл. 1).

Эти результаты хорошо коррелируют с определениями, выполненными с помощью стандартных методов, и соответствуют плотным образцам, содержащим преимущественно новообразованные фазы, песчаные и пылеватые реликтовые минеральные частицы.

Сравнение изменения микропористости в зависимости от содержания цементной составляющей в ВНВ и ТМЦ свидетельствует о том, что при увеличении доли цемента в ТМЦ происходит уплотнение структуры за счет уменьшения количества и размера пор, что связано с заполнением пространства матрицы продуктами гидратации. При этом наиболее крупные поры формируются при низком содержании клинкерной составляющей.

При увеличении содержания цемента в 2,3 раза микропористость образцов на основе ТМЦ уменьшается на 16%, на основе ТМЦ+СБ-3 – на 10,8 %, на основе ВНВ – на 1,4 %. Уменьшение интенсивности снижения пористости в этом ряду связано с высокой наполненностью матрицы и с изменением пропорций мелких и крупных пор. Анализ количества разноразмерных пор показывает увеличение их числа в той же последовательности.

Таким образом, в ряду ТМЦ – ТМЦ+СБ-3 – ВНВ снижение общей микропористости уменьшается, однако общее количество пор резко возрастает (рис. 1, 2). Это связано с увеличением удельной поверхности пор.

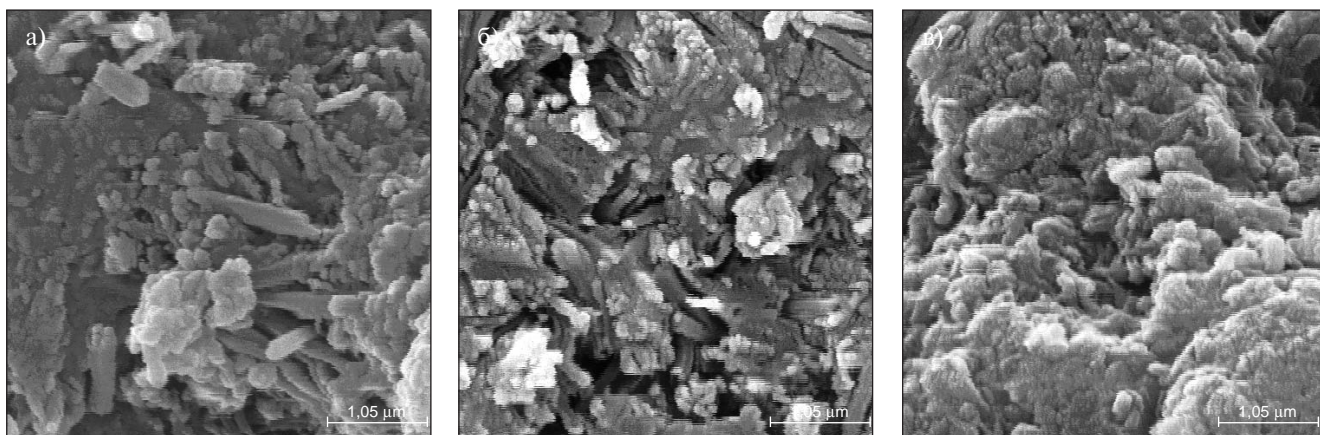
При этом новообразования основной массы в образцах на основе ТМЦ-70 более мелкие по сравнению с образцами на ТМЦ-30. Кроме того, разуплотнение микроstructures у образцов с низким содержанием цемента обусловлено повышенным водоцементным отношением.

Поровое пространство исследуемых материалов представлено четырьмя категориями пор (табл. 2). Во всех типах композитов наблюдается увеличение содержания пор категории  $D_1$  и уменьшение пор категории  $D_4$  при увеличении клинкерной составляющей. Среди пор категорий  $D_2$  и  $D_3$  происходит перераспределение и усреднение пористости.

Преобладают микропоры анизометричной формы (фактор формы  $K_f = 0,1–0,66$ ). При этом для образцов на основе ВНВ-30, ТМЦ-70 и ТМЦ-70+СБ-3 характерен широкий разброс значений фактора формы (табл. 2), т. е. им свойственны как изометричные ( $K_f$  от 0,67 до 0,91–1), так и анизометричные ( $K_f$  до 0,17) микропоры. В системах на основе ТМЦ+СБ-3 при увеличении содержания цемента расширяются предельные значения фактора формы, увеличивается количество изо- и анизометричных пор.

Степень ориентации твердых структурных элементов и пор определяет текстуру материала, или геометрический признак ее микроstructures. Для количественной оценки текстуры изучались направление и степень преимущественной ориентации структурных элементов. По полученным розам ориентации рассчитывался параметр степени ориентации – коэффициент анизотропии  $K_a$ .

Результаты анализа ориентации структурных элементов показали, что все образцы имеют микроstructures от слабо- до среднеориентированной ( $K_a = 6,02–22,34\%$ ). Данный вид ориентации связан с естественным гравитационным уплотнением смеси. При увеличении клинкерной составляющей коэффициент анизотропии во всех образцах возрастает. Это объясняется увеличением



**Рис. 2.** Изменение микроstructures композитов в зависимости от состава: а – ТМЦ-70; б – ТМЦ-70+СБ-3; в – ВНВ-70. Увеличение  $\times 32000$

Таблица 2

Образец	Микроморфологические параметры*	Категории пор				n, %	K <sub>a</sub> , %
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>		
ТМЦ-30	D, мкм**	0,059–0,22	0,22–1,1	<b>1,1–25,7</b>	25,7–63,19	23,29	7,66
	N, %	8,1	20,9	<b>63,6</b>	7,3		
	K <sub>f</sub> ***	0,5–0,67; 0,25–0,33					
ТМЦ-70	D, мкм	0,061–0,31	0,31–1,08	<b>1,08–19,27</b>	19,27–35,7	19,53	15
	N, %	21,1	16,2	<b>52,7</b>	10		
	K <sub>f</sub>	0,33–0,5; 0,67–0,83; 0,91–1					
ВНВ-30	D, мкм	0,059–0,3	<b>0,3–3,08</b>	3,08–19,8	19,8–79,82	20,54	7,82
	N, %	8,9	<b>41,5</b>	34,6	15		
	K <sub>f</sub>	0,42–0,58; 0,67–0,75; 0,83–0,91; 0,17–0,25					
ВНВ-70	D, мкм	0,059–0,34	0,34–3,09	<b>3,09–43,27</b>	43,37–53,9	20,31	22,34
	N, %	26	22,2	<b>45,2</b>	6,6		
	K <sub>f</sub>	0,42–0,66					
ТМЦ-30+СБ-3	D, мкм	0,069–0,21	<b>0,21–6,01</b>	6,01–22,96	22,96–70,09	19,89	6,02
	N, %	3,2	<b>53</b>	32,1	11,7		
	K <sub>f</sub>	0,5–0,58; 0,75–0,83					
ТМЦ-70+СБ-3	D, мкм	<b>0,059–0,62</b>	0,62–2,24	<b>2,24–23,56</b>	23,56–44,73	17,75	11,7
	N, %	<b>37,6</b>	19,1	<b>35,6</b>	7,7		
	K <sub>f</sub>	0,33–0,5; 0,17–0,25; 0,67–0,75					

\*D – эквивалентный диаметр; N – процент от общей пористости для данной категории пор; K<sub>f</sub> – фактор формы.

\*\*Жирным шрифтом выделены преобладающие категории пор, курсивом – наименьшие.

\*\*\*Значения K<sub>f</sub> расположены в порядке уменьшения доли пор с данным значением фактора формы.

количества сформированных более крупных гидросиликатов кальция (рис. 2), которые представляют собой анизометричные новообразования, удлиненные в одном направлении, – столбчатые, нитевидные кристаллы. Исходная анизометричность композита обусловлена наличием анизометричных пор. При повышенном содержании цемента в системе, наиболее удлиненные новообразования, заполняя поры, ориентируются по большему диаметру поры, соединяя противоположные стенки. Таким образом, в общей массе композита формируется некая упорядоченность, объясняющая увеличение K<sub>a</sub>.

Впервые проведенная оценка микроморфологических характеристик матрицы цементных композитов на основе различных составов ВНВ и ТМЦ выявила особенности микроструктуры искусственных композитов, и прежде всего, особенности порового пространства, определяющие специфические эксплуатационные показатели композиционных вяжущих.

Исследование микропористости модельных композитов, полученных в результате твердения ТМЦ и ВНВ, проводилось на составах с одинаковой подвижностью смесей. Причем в составах ТМЦ+СБ-3 и ВНВ при одинаковом содержании клинкерной составляющей (30 либо 70%) количество вводимой воды и суперпластификатора сохранялось. Несмотря на это, как показали микроморфологические исследования, микропористость и морфология новообразований матрицы имеет существенные отличия. Это означает, что методы, позволяющие определить качество бетонной смеси (подвижность и жесткость), если являются необходимыми для мелкозернистых бетонов, то наверняка не являются достаточными и тем более информативными и достоверными.

Работа выполняется при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых МД-2906.2007.8 «Методологические принципы проектирования композиционных вяжущих при использовании нанодисперсных модификаторов с учетом типоморфизма сырья».

#### Список литературы

1. Stark J., Freyburg E. Spritzbeton Im Tunnelbau Und Sulfatangriff // Tiefbau. 2004. № 12. S. 782–783.
2. Ping-Kun Changa, Wei-Ming Hou, Chao-Lung Hwang. A Study on the Microstructure of the Nano Concrete Composite Materials // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 2004. Vol. 791. Q8.2.1–Q8.2.7.
3. Кондратьева И.А., Горбушина А.А., Бойкова А.И., Галафутник Л.Г. Исследование биоповреждений промышленных клинкерных композиций // Строит. материалы. 2006. № 7. С. 58–60.
4. Бак Динь Тхуен, Баженев Ю.М. Совершенствование технологии производства керамических строительных материалов в Социалистической Республике Вьетнам // Строит. материалы 2006. № 7. С. 84–86.
5. Наседкин В.В. Бентонит как природный наноматериал в строительстве // Строит. материалы. 2006. № 9. / Наука. № 8. С. 8–10.
6. Сивков С.П., Голунов С.А., Косинов Е.А., Зайцев А.В. Влияние редисперсионных полимерных порошков на свойства самонивелирующихся композиций // Строит. материалы. 2006. № 10. С. 58–61.
7. Дамдинова Д.Р., Хардаев П.К., Батодоржиев В.В., Цыренов С.А. Роль современных методов исследований при изучении структуры пеностекла // Строит. материалы. 2006. № 11. С. 30–31.
8. Салахов А.М., Туктарова Г.Р., Морозов В.П. Строительная керамика на основе высокодисперсных композиций // Строит. материалы. 2006. № 12. С. 8–9.
9. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В., Мельник В.Н. Программно-аппаратный комплекс для исследования микроморфологии поверхности твердых тел по РЭМ-изображениям // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 1998. № 1. С. 33–41.
10. Соколов В.Н. Количественный анализ структуры грунтов // Сб. тр. «Инженерная геология сегодня: теория, практика, проблемы». М.: Изд-во МГУ. 1988. С. 174–185.

## Коллоидно-химические основы прочности и долговечности бетона и конструкций

Основной причиной недостаточной долговечности бетонных и железобетонных конструкций и сооружений в сложных условиях эксплуатации (обводнение, изгиб длинномерных конструкций, действие блуждающих токов и токов утечки и др.) является несовершенство представлений о структуре цементного камня и бетона, их прочности, разрушения и долговременных свойств (долговременная ползучесть в больших конструкциях и водопроницаемость).

В качестве теоретической основы для развития указанных представлений использованы основные положения коллоидной химии и физико-химической механики дисперсных систем [1], теория электрогетерогенных взаимодействий при твердении цементных вяжущих [2], теория долговечности бетона и железобетона в обводненных сооружениях [3].

Наиболее реальной для бетона является коллоидно-химическая модель в виде дисперсной системы, состоящей из дисперсионной среды и дисперсной фазы — грубодисперсной и высокодисперсной. Грубодисперсная фаза состоит из зерен щебня и песка. Высокодисперсная — из не полностью гидратированных частиц цемента, определяющих микроструктуру цементного камня, и продуктов его гидратации, определяющих субмикроструктуру цементного камня.

Размеры частиц указанных фаз позволяют рассматривать полиструктурную (полидисперсную) модель бетона с выделением в ней макро-, мезо-, микро- и субмикроскопического уровней структуры, определяемых размерами зерен щебня и песка, частиц цемента и продуктов его гидратации и коррозии.

Дисперсионная среда представляет собой в основном раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с концентрацией около 0,02 моль/л,

$\text{pH} \approx 12$ . Она содержится в капиллярах и порах в виде физико-химически связанной и свободной воды с растворенными в ней ионами. Газообразная дисперсная фаза представлена воздухом, содержащимся в части капилляров и пор, не заполненных водой.

Средние размеры структурообразующих элементов макро- и мезоуровня составляют соответственно 10–15 мм (зерна щебня) и 0,2–0,5 мм (зерна песка). Размеры структурообразующих элементов микроуровня 50 мкм — это средний размер частиц цемента наиболее представительной по массе фракции. Количественные характеристики элементов структуры на субмикроуровне определены путем анализа результатов известных и собственных, выполненных совместно с А.Г. Холодным, электронно-микроскопических исследований.

В качестве элементов субмикроструктуры портландцементного камня рассматриваются кристаллогидраты: портландит  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , гексагональные гидроалюминат и гидромonosульфалюминат кальция  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \times 13\text{H}_2\text{O}$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , а также эттрингит  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot (31-32)\text{H}_2\text{O}$ .

Кристаллогидратные частицы портландита и гексагональных гидроалюмината и гидромonosульфалюмината кальция имеют средние размеры до 500 нм. Основной формой эттрингита в обычном портландцементном камне является игольчатая форма [1]. При  $\text{pH} = 11-12$  длина игл составляет 1–2 мкм, ширина — 0,1–0,2 мкм (средний размер 500 нм). При  $\text{pH} = 12-12,5$  образуется лучеобразный эттрингит со значительно более тонкими и короткими волокнами кристаллов [4]. В пропаренном бетоне и бетоне, приготовленном с применением добавок-суперпластификаторов, эттрингит не образуется [5, 6].

Дополнительное увеличение фрагментов электронно-микроскопических снимков с помощью ПЭВМ показало, что первичными устойчивыми образованиями гидросиликатного геля являются сферические частицы размером около 10 нм, которые формируют глобулярные образования размером около 50 нм. Из этих частиц образуются наблюдаемые в микроскоп пластинчатые, игольчатые, волокнистые, трубчатые образования.

Сферическая форма и размеры наименьших структурных элементов гидросиликатного геля подтверждается строением реакционного слоя из первичных гидросиликатов кальция  $\text{C}_3\text{SH}_x$ , возникающего в первые секунды после контакта зерен  $\text{C}_3\text{S}$  с водой [7].

Структурообразующие элементы формируют систему капилляров и пор соответствующих структурных уровней.

С учетом изложенного разработана схематическая многоуровневая модель структуры бетона (рис. 1) [8], дающая наглядное представление о взаимодействиях между этими элементами. Значительный вклад в эти взаимодействия вносят электроповерхностные свойства структурных элементов бетона и обусловленные ими электроповерхностные взаимодействия.

Под электроповерхностными свойствами дисперсных систем, как известно, подразумеваются поверхностный заряд, характеризующийся плотностью  $q^0$ , поверхностный (электроповерхностный) потенциал  $\psi^0$ ,

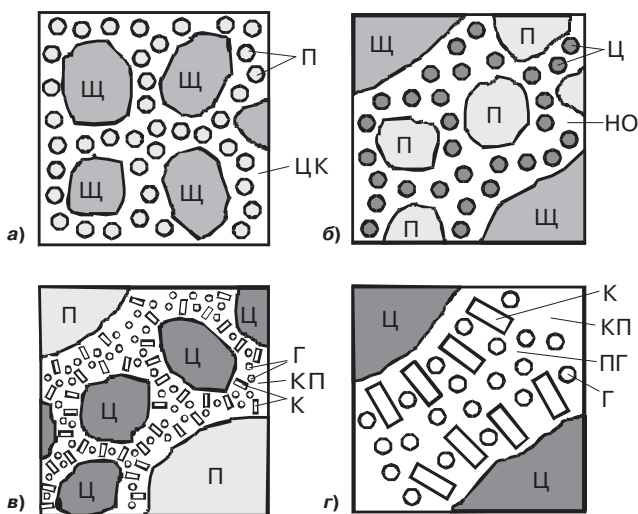


Рис. 1. Схема структуры бетона на макро- (а), мезо- (б), микро- (в) и субмикроскопическом (г) уровнях: Щ, П — зерна щебня и песка; ЦК — цементный камень; Ц — не полностью гидратированные частицы цемента; НО — новообразования — продукты гидратации цемента; К — частицы кристаллогидратов; Г — глобулы геля; КП — капиллярные поры; ПГ — поры геля

равновесный электроповерхностный потенциал  $\psi_p^0$ , обусловленные образованием на границе раздела фаз двойного электрического слоя ДЭС [9]. В [10] разработан метод и выполнена оценка электроповерхностных потенциалов твердой фазы  $\psi^0$  исходя из значений стандартных электродных потенциалов  $E^0$  для простых веществ, исходных минералов цементного клинкера и продуктов их гидратации (см. таблицу).

Рассмотрим сущность поверхностного заряда  $q^0$  и распределение потенциалопределяющих ионов (ПОИ) на поверхности структурных элементов. Обычно поверхностный заряд в ДЭС рассматривается равномерно распределенным. Однако поверхностный заряд в действительности состоит из дискретных (точечных) зарядов ПОИ, величина которых кратна элементарному заряду. Это вытекает из данных, полученных с помощью метода электронно-микроскопического декорирования поверхности твердых тел [11].

Наглядное представление о ПОИ активных центров (АЦ) дают многочисленные электронно-микроскопические снимки продуктов гидратации цемента, например гидросиликатов кальция. Согласно снимкам частицы геля формируются в поле ПОИ и расстояние между ними составляет  $\approx 11,5$  нм.

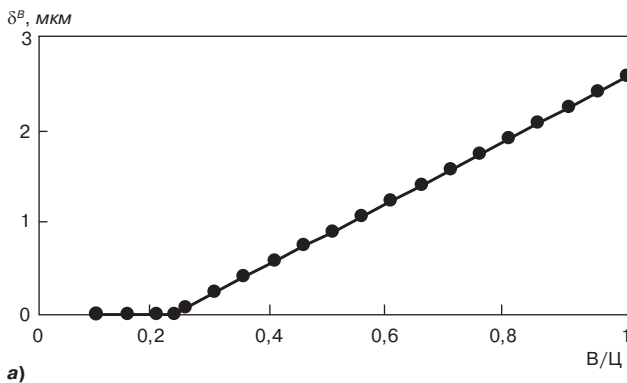
Изложенное позволяет оценивать взаимодействия между поверхностями структурных элементами через единичные связи между ПОИ.

В структуре цементного теста толщина прослоек определяется толщиной слоя воды  $\delta^B$  на поверхности цементных частиц, определяемого как отношение объема воды  $V$  в цементном тесте к площади удельной поверхности  $S^H$  цемента:

$$\delta^B = \frac{B - V_{\text{ПВС}}^H}{S^H} = 10000 \frac{\left(\frac{B}{C} - 0,23\right) \cdot C}{C \cdot S^H} = 10000 \frac{B}{C} - 0,23, \quad (1)$$

где  $V_{\text{ПВС}}^H$  — объем пустот в цементе; 0,23 — водоцементное отношение (В/Ц), обеспечивающее заполнение водой пустот в цементе.

На рис. 2а изображена зависимость  $\delta^B$  от В/Ц. Как видно, при оптимальном  $(\text{В/Ц})_{\text{ОПТ}} = 0,23$  толщина слоя воды приближается к нулю, а точнее, равна толщине монослоя воды, связанного поверхностью цементных частиц. При  $\text{В/Ц} = 0,5$ , что соответствует высокотекучей цементно-водной смеси,  $\delta^B = 0,9$  мкм. При такой толщине прослойки воды между цементными частицами фракции 50 мкм не могут разместиться частицы наиболее мелкой по размерам фракции 5 мкм и тем более фракции 10 мкм. Поэтому в цементно-водной смеси между цементными частицами фракции 50 мкм будут размещаться кристаллогидратные частицы первичных продуктов гидратации цемента — этtringита ( $\approx 0,5$  мкм) и Са(ОН)<sub>2</sub> ( $\approx 0,25$  мкм) с частицами геля между ними (рис. 2б).



а)

Наименование	Потенциал	
	$\psi^0$ , В	$\psi_p^0$ , В при pH = 12
Кварц SiO <sub>2</sub>	-0,55	1,26
Гранит 0,3SiO <sub>2</sub> ·0,7K <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub>	0,07	-0,78
Кальцит CaCO <sub>3</sub>	+0,69	-
Портландит Са(ОН) <sub>2</sub>	+1,24	+0,53
Гидросиликаты кальция C <sub>2</sub> SH	+0,59	0,11
Гидросиликаты кальция CSH	+0,29	0,37
Гидроалюминат кальция C <sub>3</sub> AH <sub>6</sub>	+0,92	+0,21
Этtringит C <sub>3</sub> A·3CaSO <sub>4</sub> ·H <sub>32</sub>	+0,9	+0,19
Гидромоносulfоалюминат кальция C <sub>3</sub> A·CaSO <sub>4</sub> ·H <sub>19</sub>	+1,24	+0,53

Противоположные поверхностные заряды частиц кристаллогидратов (положительные) и не до конца прореагировавших частиц цемента, а также геля (отрицательные) определяют притягивающее взаимодействие между этими частицами и образование электрогетерогенных контактов (ЭГК), которые определяют прочность цементного камня в целом.

В таких электрогетерогенных контактах нет сил, препятствующих их притяжению [1], кроме последнего мономолекулярного слоя воды.

С учетом этого, а также изложенного выше об активных центрах в ЭГК образуются единичные электрогетерогенные контакты между положительными и отрицательными ПОИ с дипольными молекулами воды между ними.

Сила взаимодействия в единичном электрогетерогенном контакте определяется законом Кулона и вытекающим из него уравнением взаимодействия между зарядом и дипольным моментом.

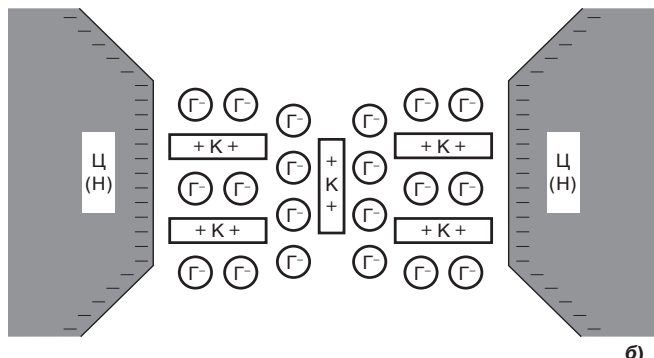
Согласно физико-химической теории прочности дисперсных систем Ребиндера—Шукина прочность цементного камня при растяжении  $R_p^{HK}$  можно представить как произведение прочности таких электрогетерогенных контактов при растяжении  $R_p^{ЭГК}$  и их концентрации  $\gamma$  в поверхности разрыва цементного камня:

$$R_p^{HK} = R_p^{ЭГК} \cdot \gamma. \quad (2)$$

По [9] прочность  $R_p^{ЭГК}$ , в свою очередь, равна произведению силы связи единичного электрогетерогенного контакта  $P_{ЭГК}$  между ПОИ Ca<sup>2+</sup> и OH<sup>-</sup> на поверхностную концентрацию  $n$  этих контактов, определяемую по выражению:

$$n = \frac{q}{z \cdot e} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \cdot |\psi^0|}{4\pi d \cdot z \cdot e}, \quad (3)$$

где  $q$  — плотность поверхностного заряда потенциалопределяющих ионов, Кл/м<sup>2</sup>;  $z$  — валентность ПОИ;  $e$  — элементар-



б)

Рис. 2. Зависимость толщины слоя воды на поверхности цементных частиц от В/Ц (а) и заполнение прослоек продуктами гидратации цемента (б): К — частицы кристаллогидратов; Г — глобулы геля; Ц — не полностью прореагировавшие частицы цемента

ный заряд, Кл;  $\epsilon$ ,  $\epsilon_0$  – относительная диэлектрическая проницаемость и электрическая постоянная;  $d$  – расстояние между ПОИ и плотным слоем противоионов в ДЭС, м.

Сила связи РК в единичном контакте:

$$P_k = \frac{z^- z^+ e^2}{4\pi\epsilon_{ПОИ}\epsilon_0 h^2} + \sum \frac{z^+ e \mu_B}{2\pi\epsilon\epsilon_0 h_\mu^3}, \quad (4)$$

где первый член описывает ион-ионное взаимодействие между  $Ca^{2+}$  и  $OH^-$ , а второй – ион-дипольное взаимодействие между  $Ca^{2+}$  и диполями воды.

В окончательном виде прочность единичного контакта:

$$R_p^{ЭГК} = \frac{z^- e(\psi^0)^+}{16 \cdot \epsilon_{ПОИ} \cdot \pi^2 d h_{ПОИ}^2} + \frac{z^- \mu_d (\psi^0)^+}{4,44 \epsilon_\mu \pi^2 z^+ d h_\mu^3}, \quad (5)$$

где  $h$  – расстояние между ПОИ;  $h_\mu$  – расстояние между ПОИ и адсорбированным диполем воды.

Принимая  $\psi^0$  равным равновесному при  $pH=12$  потенциалу (табл. 1);  $z^+ = 2$  (для  $Ca^{2+}$ );  $z^- = 1$  (для  $OH^-$ );  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл;  $d = 2,53 \cdot 10^{-10}$  м;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ;  $\epsilon_{ПОИ} = \epsilon_\mu = 1$ ;  $h_\mu = 2,93 \cdot 10^{-10}$  м, получим для портландита  $n = 4,6 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$  и для низкоосновных гидросиликатов кальция  $n = 6,4 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$ , что соответствует экспериментально обнаруживаемым величинам  $n$  твердых веществ [12].

Определяющим прочностью является единичный ЭГК на поверхности портландита, так как поверхностная концентрация ПОИ на нем меньше, чем на частицах гидросиликатов кальция.

Подставим те же данные в (5), получим  $R_p^{ЭГК} = 14$  МПа.

Поскольку отношение между прочностью при растяжении и сжатии составляет около 1:10, соответствующая прочность при сжатии составит около  $R_{сж} = 140$  МПа.

Поверхностная концентрация  $\gamma$  электрогетерогенных контактов на поверхности разрыва цементного камня при  $V/C \geq 0,23$  равна  $\gamma = \gamma_{ПОВ}^{КГ} \cdot \gamma_{ПОВ}^Г$ , где  $\gamma_{ПОВ}^{КГ}$  – поверхностная доля кристаллогидратов на поверхности разрыва цементного камня при его растяжении;  $\gamma_{ПОВ}^Г$  – поверхностная доля гелевых частиц, адсорбированных на поверхности кристаллогидратов.

Поверхностная доля кристаллогидратов на поверхности разрыва цементного камня определится по объемному содержанию цемента в цементном тесте (камне)  $V^{КГ}/V^{ЦГ}$  и коэффициенту перехода от объемной доли к поверхностной  $K_{ПОВ}$ :

$$\gamma_{ПОВ}^{КГ} = \frac{V^{КГ}}{V^{ЦГ}} K_{ПОВ} = \frac{\Pi \alpha A}{\rho^{КГ} \left( \frac{\Pi}{\rho^{\Pi}} + B - B_{ХС} \right)} K_{ПОВ} = \frac{\frac{\Pi}{B} \alpha A \rho^{\Pi}}{\rho^{КГ} \left( \frac{\Pi}{\rho^{\Pi}} + B - B_{ХС} \right)}, \quad (6)$$

а величина  $\gamma_{ПОВ}^Г$  как поверхностная доля частиц геля в обводненном геле:

$$\gamma_{ПОВ}^Г = \frac{V^Г}{V_{ОГ}} K_{ПОВ} = \frac{\frac{\Pi}{B} \alpha B (1 + \Pi_{УС}^Г) K_{ПОВ}}{\rho^Г \left( \frac{B}{\rho^B} - \frac{\Pi \alpha \cdot 0,23}{\rho^B} + \frac{\Pi \alpha B}{\rho^Г} \right)} = \frac{\frac{\Pi}{B} \alpha B \rho^B (1 + \Pi_{УС}^Г) K_{ПОВ}}{1 - \frac{\Pi \alpha}{B} \left( 0,23 - \frac{B \rho^B}{\rho^Г} \right)}, \quad (7)$$

где  $\Pi$ ,  $B$  – расход цемента и воды на  $1 \text{ м}^3$  бетона соответственно;  $\rho^B$ ,  $\rho^{\Pi}$ ,  $\rho^{КГ}$ ,  $\rho^Г$  – плотности воды, цемента истинная, кристаллогидратов и гелевых продуктов гидратации;  $B_{ХС}$  – количество химически связанной воды в  $1 \text{ м}^3$  бетона;  $\alpha$  – степень гидратации цемента;  $A$ ,  $B$  – массовые доли кристаллогидратов и гелевых продуктов гидратации в расчете на количество прогидратировавшего цемента;  $\Pi_{УС}^Г$  – пустотность геля;  $V^Г$ ,  $V_{ОГ}$  – объем геля и обводненного геля.

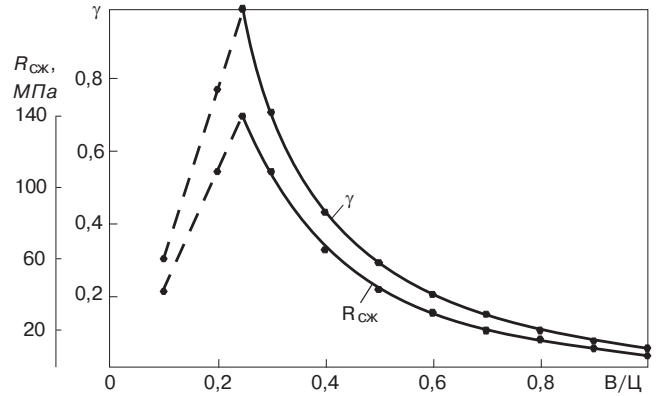


Рис. 3. Зависимость расчетных и экспериментальных величин прочности при сжатии  $R_{сж}$  цементного камня, а также концентрации ЭГК от водоцементного отношения  $V/C$  [6]

С учетом (4) и (6) при подстановке в эти уравнения  $K_{ПОВ} = 1,5$ ;  $\Pi_{УС}^Г = 0,28$ ;  $\rho^{\Pi} = 3,1 \text{ т/м}^3$ ;  $\rho^B = 1 \text{ т/м}^3$ ;  $\rho^{КГ} = 2,43 \text{ т/м}^3$ ;  $\rho^Г = 2,7 \text{ т/м}^3$  получено уравнение прочности цементного камня:

$$R_p^{ЦК} = R_p^{ЭГК} \cdot \gamma = R_p^{ЭГК} 1,35 \alpha^2 AB \frac{\left( \frac{\Pi}{B} \right)^2}{\frac{\Pi}{B} + \rho^{\Pi} \left( 1 - \frac{B_{ХС}}{B} \right)}, \quad (8)$$

где  $R_p^{ЭГК}$  – прочность ЭГК при растяжении;  $\gamma$  – концентрация ЭГК:

$$\gamma = 1,35 \alpha^2 AB \frac{\left( \frac{\Pi}{B} \right)^2}{\frac{\Pi}{B} + \rho^{\Pi} \left( 1 - \frac{B_{ХС}}{B} \right)}, \quad (9)$$

В соответствии с уравнениями (8) и (9) можно считать структурными характеристиками цементного камня на микро- и субмикроуровнях  $\Pi/B$  ( $B/\Pi$ ) и произведение массовых долей кристаллогидратов и гидросиликатного геля  $AB$  (отражает количество электрогетерогенных контактов ЭГК). При  $B/\Pi = 0,23$  (рис. 3) теоретическая и экспериментальная прочность достигает максимальных значений. В связи с этим значение  $B/\Pi = 0,23$  можно считать оптимальным по прочности ( $B/\Pi)_{опт} = 0,23$ .

Уменьшение прочности при  $B/\Pi < (B/\Pi)_{опт}$  и при  $B/\Pi > (B/\Pi)_{опт}$  с учетом изложенного выше обусловлено уменьшением поверхностной доли ЭГК  $\gamma_s^{ЭК}$  между частицами цемента, определяющими структуру цементного камня на микроуровне. Нет сомнения, что поверхностная доля ЭГК между частицами цемента и пористость цементного камня являются определяющими характеристиками его долговечности. Следовательно,  $B/\Pi$  является структурной характеристикой цементного камня на микроуровне, определяющей его прочность и долговечность.

Как отмечалось, кристаллогидратные и гелевые продукты гидратации цемента в цементном камне являются его структурными элементами СЭ на субмикроуровне и образуют ЭГК в цементном камне. Произведение их массовых долей  $AB$  в уравнении прочности определяет долю ЭГК в цементном камне.

Кристаллогидраты  $Sa(OH)_2$  являются химически нестойкими структурными элементами и их концентрация в объеме под влиянием коррозии уменьшается с течением времени. Вместе с этим уменьшается объемная, а значит, и поверхностная доля ЭГК. Следовательно, произведение  $AB$  является структурной характеристикой цементного камня на субмикроуровне.

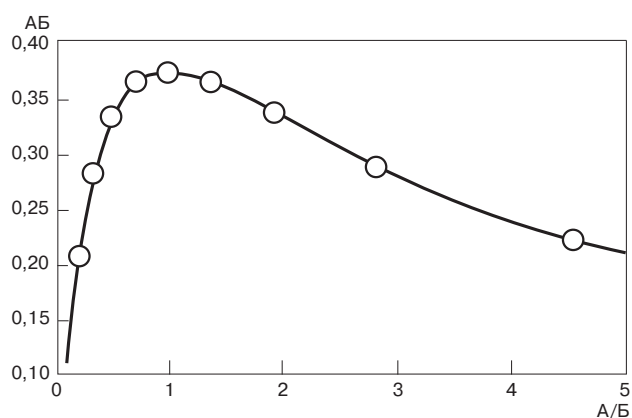


Рис. 4. Зависимость произведения массовых долей кристаллогидратных и гелевых продуктов (АБ) от их отношения (А/Б)

При определенной степени гидратации  $\alpha^u$  количество кристаллогидратов и геля в продуктах гидратации цемента является постоянным, равным  $A + B = 0,57 + 0,65 = 1,22$ . Это предполагает зависимость произведения АБ, характеризующего концентрацию электрогетерогенных контактов в цементном камне, от массового отношения кристаллогидратов и геля А/Б:

$$A/B = A / (1,22 - A). \quad (10)$$

На рис. 4 представлена зависимость АБ от А/Б. Полученная кривая имеет экстремальный характер, что свидетельствует об экстремальной зависимости прочности от отношения количества кристаллогидратов к количеству геля (А/Б) в цементном камне. Частицы кристаллогидратов и геля являются структурными элементами на субмикроруровне, следовательно, отношение А/Б также является структурной характеристикой цементного камня на субмикроруровне.

Это подтверждается экспериментальными данными о зависимости прочности при сжатии  $R_{сж}$  искусственного камня из различных силикатных вяжущих веществ от массового отношения количества положительно заряженных кристаллогидратных (портландит) к количеству отрицательно заряженных гелевых (гидросиликаты кальция) продуктов гидратации КГ/Г (рис. 5), которая может быть использована как основополагающая экспериментальная зависимость для оценки долговечности бетона, водостойкости вяжущих и т. п. Из рис. 5 видно, что максимальная прочность вяжущих веществ имеет место при соблюдении оптимальной величины  $(KГ/Г)_{opt} = 0,9$ .

В этом случае частицы гидросиликатного геля различной формы связывают частицы кристаллогидратов по механизму электрогетерогенной коагуляции в наблюдаемый на электронно-микроскопических снимках наиболее плотный кристаллогидратный каркас. При отклонении КГ/Г или А/Б от их оптимальных величин как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения образуется менее плотный каркас и отмечается соответствующее снижение прочности искусственного камня (рис. 5). Это оказывает определяющее влияние на долговечность и коррозионную стойкость цементного камня и бетона.

Таким образом, разработанная количественная теория прочности цементного камня и бетона позволяет рассматривать вопросы разрушения и долговечности бетона и железобетонных конструкций.

На основе изложенной теории разработаны новые представления о долговременной ползучести бетона в массивных и длинномерных конструкциях, водонепроницаемости бетона в безнапорных условиях, определяющие долговечность железобетонных конструкций. Разработаны также новые цементно-водные смеси для

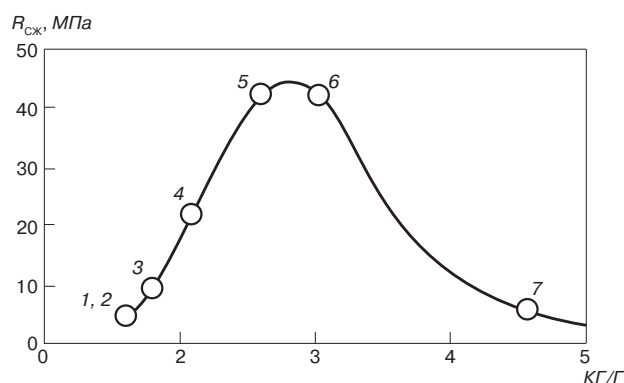


Рис. 5. Зависимость  $R_{сж}$  от КГ/Г для камня из силикатных вяжущих: 1 – романцемента; 2 –  $C_2S$ ; 3 –  $0,25C_3S + 0,75C_2S$ ; 4 –  $0,5C_3S + 0,5C_2S$ ; 5 –  $0,75C_3S + 0,25C_2S$ ; 6 –  $C_3S$ ; 7 – гидравлическая известь

нагнетания, растворы и бетоны оптимальных составов, новые высокоэффективные технологии ремонта для разрушающихся мостов, тоннелей и труб в сложных условиях эксплуатации, которые прошли эксплуатационные испытания и внедрены на многих инженерных сооружениях железных дорог.

#### Список литературы

1. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 1984. 368 с.
2. Плугин А.Н. Электрогетерогенный механизм структурообразования цементно-водных систем // Тез. докл. VI Республ. конфер. по физикохимии и технологии получения и применения промывочных жидкостей, дисперсных систем и тампонажных растворов. Киев: ИКХХВ АН УССР, 1985. Ч. I. С. 127.
3. Плугин А.А. Долговечность бетона транспортных сооружений, эксплуатируемых в условиях обводнения // Вестник НУВГП. Ровно, 2004. Вып. 4(28). Ч. 2. С. 175–179.
4. Штарк И., Бернд В. Долговечность бетона: Пер. с нем. / Под ред. П.В. Кривенко. Киев: Оранта. 2004. 295 с.
5. Комохов П.Г. О структурной вязкости горячих смесей при горячем формовании // Сб. тр. ЛИИЖТ. Л.: Транспорт. 1972. № 333.
6. Никитинский А.В. Влияние микронаполнителей на фазовый состав, структуру и свойства цементного камня // Сб. научн. тр. Харьков: УкрГАЖТ, 2006. Вып. 77. С. 71–82.
7. Trettin R. Reactivity and Mechanism of Hydration of Cement Phases // Proc. of the 10th Internat. Congr. of the Chemistry of Cement. Gothenburg: Inform Trycket. 1997. V. 2. 2ii050. 8 p.
8. Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А. Коллоидно-химические основы прочности, разрушения и долговечности бетона и железобетонных конструкций // Цемент. 1997. № 2. С. 28–32.
9. Plugin A.N., Prokopova I.G., Wild S., Plugin A.A. The Mechanism of Water and Ionic Permeability of Concrete // Proc. of the 10th Intern. Congr. of the Chemistry of Cement. Goteborg: Inform Trycket. 1997. V. 4. 4iv075. 8 pp.
10. Плугин А.Н., Вдовенко Н.В., Бирюков А.И., Овчаренко Ф.Д. О механизме возникновения электроповерхностного потенциала различных веществ в водных растворах // ДАН СССР. 1988. Т. 298. № 3. С. 656–661.
11. Дистлер Г.И., Власов В.П., Герасимов Ю.М. Декорирование поверхности твердых тел. М: Наука. 1976. 111 с.
12. Киселев В.Ф., Крылов О.В. Адсорбционные процессы на поверхности полупроводников и диэлектриков. М.: Наука. 1978. 256 с.

Р.Р. САХИБГАРЕЕВ, канд. техн. наук,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет (Республика Башкортостан)

## Физико-химические аспекты применения модифицированных бетонов

Добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ) широко применяются в технологии бетона в качестве модификаторов различного функционального действия. При этом наиболее эффективными являются добавки анионных и неионогенных ПАВ. Актуальным является вопрос получения эффективных добавок ПАВ на основе недефицитного сырья или отходов производства, разработка и оптимизация технологии их получения, расширение областей применения и создание полифункциональных модификаторов, установление критериев их эффективности.

Основу механизма действия ПАВ на цементные системы составляет адсорбция на границах раздела фаз, зависящая от типа ПАВ, его поверхностной активности, физико-химических свойств и природы адсорбирующей поверхности исходного вяжущего и продуктов гидратации. При управлении гидратацией и структурообразованием цементных систем введением добавок ПАВ мало изучены закономерности между свойствами твердеющей цементной системы и физико-химическими свойствами добавок.

Влияние добавок ПАВ проявляется на всех структурных уровнях бетона — цементном камне, заполнителе и контактном слое между ними [1].

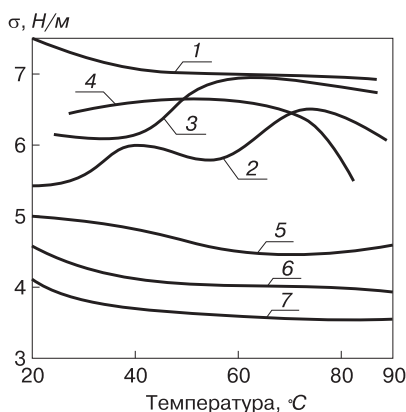


Рис. 1. Изменение поверхностного натяжения на границе жидкость — воздух при нагревании водных растворов добавок анионных и неионогенных ПАВ: 1 — без добавки; 2 — с добавкой СДБ 1%; 3 — то же с С-3 1%; 4 — то же с ДКГМ-1 1%; 5 — с добавкой ОКОВЖС-1 0,2%; 6 — то же с ОКОВЖС-4 0,6%; 7 — то же с ОКОВЖС-7 1%

На основе общих принципов был обоснован выбор исходного сырья — побочных продуктов производства высших жирных спиртов для получения добавок к бетону. По своим физико-химическим свойствам этим требованиям удовлетворяют кубовые остатки высших жирных спиртов  $C_{18}-C_{24}$  (КОВЖС).

Предложены и разработаны два способа получения добавок на основе выбранного сырья — сульфатирование с последующей нейтрализацией для получения анионных ПАВ и оксиэтилирование для получения неионогенных ПАВ [2–4].

В качестве сульфоагента использовались кислые гудроны после очистки жидких парафинов, которые являются крупнотоннажными не утилизируемыми отходами. Получена анионная добавка ДКГМ-1.

В качестве второго способа модификации для получения добавок неионогенных ПАВ на основе того же сырья — КОВЖС использовался способ оксиэтилирования исходного продукта. В сравнении со способом модификации путем сульфатирования, основным недостатком которого является ограниченная возможность присоединения сульфогрупп [5], способ оксиэтилирования позволяет широко изменять свойства и регулировать гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ) получаемых неионогенных ПАВ на основе одного сырья. По этому способу были получены оксиэтилированные КОВЖС, под условным названием «ОКОЖВС», отличающиеся разной степенью оксиэтилирования.

Первый способ — модификация исходных гидрофобных веществ путем сульфатирования широко применяется в технологии получения эффективных добавок к бетонам, в том числе суперпластификаторов [1].

Анионная добавка ДКГМ-1 представляет собой смесь солей алкилсульфатов — сульфозэфиров высших спиртов с общей структурной формулой  $C_nH_{2n+1}SO_3Na$ .

Подобно суперпластификатору С-3, техническим лигносульфонатам и т. п., полученная добавка относится к коллоидным ПАВ, способным образовать в водном растворе агрегаты

молекул — мицеллы. Максимально возможная концентрация, при которой ПАВ находятся в водном растворе в молекулярной (ионной) форме, — критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) определяет границу фазового равновесия раствора ПАВ. В свою очередь, установлена взаимосвязь между ККМ и эффективной дозой добавок ПАВ, используемых в качестве модификаторов свойств бетона, причем для анионных добавок эта доза ниже ККМ.

Концентрация, соответствующая ККМ, определяется по изменению кривых зависимости физико-химическое свойство — концентрация. Для водных растворов анионных ПАВ можно определить ККМ по излому на кривой изменения эквивалентной электропроводности от концентрации.

Рассчитанное среднее значение ГЛБ для ДКГМ-1 по соотношению гидрофильных и гидрофобных групп молекул добавки составило 19,2, что соответствует классу эффективных смачивателей по классификации эмульгаторов [6].

Однако существенным недостатком идентификации возможного функционального применения по значению ГЛБ является тот факт, что последний (ГЛБ) не учитывает строения молекул ПАВ [7, 8]. Известно, что ПАВ, имеющие разветвленное строение, плохо растворяются в воде, осложняют адсорбцию на границе раздела фаз.

Полученная добавка ДКГМ представляет собой смесь олигомеров линейного строения со средней молекулярной массой 400 у. е., снижает поверхностное натяжение на границе жидкость — воздух (рис. 1) и по своим физико-химическим свойствам соответствует требованиям, предъявляемым эффективным модификаторам бетона.

Были получены оксиэтилированные кубовые остатки высших жирных спиртов (ОКОВЖС) с различной степенью оксиэтилирования на основе КОВЖС.

Теоретически рассчитаны (по критериям Дэвиса) и экспериментально определены следующие показатели физико-химических свойств



ОКОВЖС: поверхностное натяжение их водных растворов 3,8–5 Н/м, критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) 0,2–1, молекулярная масса 300–1200 у. е.

Результаты исследования кинетики гидратации, структурообразования и свойств цементных систем в присутствии добавок полученных ПАВ показали следующее. Установлено замедляющее действие анионной добавки ДКГМ-1 на нарастание пластической прочности на ранней стадии твердения (до 1,5–2 ч) с резкой интенсификацией последующего набора прочности, что характерно для данного типа ПАВ.

При сравнении влияния неионогенных добавок ОКОВЖС наблюдается интенсификация набора пластической прочности с ростом степени оксиэтилирования ПАВ. Показано, что наибольшей эффективностью применения в технологии бетона с точки зрения пластификации на ранних стадиях твердения обладают добавки ОКОВЖС-4 в количестве 0,3% массы цемента и ДКГМ-1 (рис. 2).

В результате проведенного рентгенофазового, термогравиметрического анализа и электронного микроскопического исследования выявлено влияние ПАВ на фазовый состав гидратированного цементного камня. Гидратация портландцемента при введении анионной добавки ДКГМ-1 сопровождается незначительным уменьшением скорости кристаллизации эттрингита. Качественно отличается гидратация и твердение портландцемента с добавками ОКОВЖС. Независимо от степени оксиэтилирования введение ОКОВЖС увеличивает скорость кристаллизации гидроксида кальция как при нормальных условиях твердения, так и после тепловой обработки. При увеличении степени оксиэтилирования ОКОВЖС наблюдается повышение содержания эттрингита.

Электронно-микроскопические исследования показали сходство структур бездобавочного образца, образцов с ДКГМ-1 и с ОКОВЖС-1 (0,5 молей оксида этилена на моль высших жирных спиртов). Использование добавок ОКОВЖС-4, ОКОВЖС-7 (число оксиэтильных групп на моль высших жирных спиртов соответственно 9 и 43) способствует формированию мелкокристаллической структуры.

Уплотнение и упрочнение структуры цементного камня с добавкой ОКОВЖС-4 подтвердили исследования контактной зоны клинкер, щебень, керамзит – цементный камень с помощью электронной микроскопии.

Исследовано влияние добавок полученных ПАВ на формирование

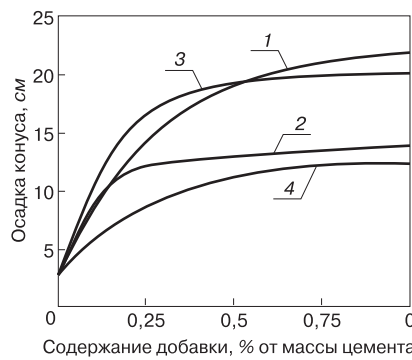


Рис. 2. Подвижность бетонной смеси в зависимости от содержания добавок анионных и неионогенных ПАВ: 1 – добавка ДКГМ-1; 2 – ОКОВЖС-1; 3 – ОКОВЖС-4; 4 – ОКОВЖС-7. Индексы «1»–«7» отражают степень оксиэтилирования

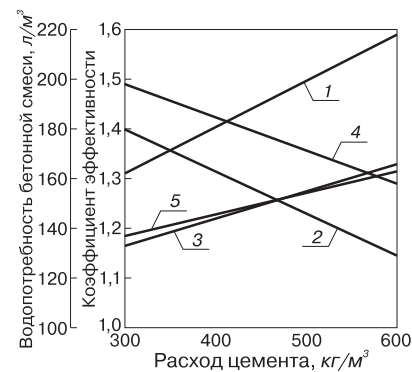


Рис. 3. Коэффициент эффективности добавок и водопотребность изопластичных бетонных смесей в зависимости от вида добавки и расхода цемента: 1 – водопотребность бетонной смеси без добавки; 2, 3 – коэффициент эффективности и водопотребность смеси соответственно с добавкой ДКГМ-1; 4, 5 – то же с добавкой ОКОВЖС-4

макропористости цементного камня. Добавка ДКГМ-1 повышает общую макропористость и размеры пор. То же действие оказывает неионогенная добавка ОКОВЖС-1. При введении ОКОВЖС большей степени оксиэтилирования наблюдается уменьшение объема макропор и их среднего диаметра.

Проведенные исследования влияния полученных анионных и неионогенных добавок ПАВ на структурообразование цементных систем подтвердили эффективность их применения в качестве полифункциональных модификаторов для интенсификации структурообразования цементных систем и формирования свойств цементного камня.

Определены оптимальные концентрации добавок для улучшения реологических свойств цементной системы, исследованы структура и свойства цементного камня с разными ПАВ, проведен сравнительный анализ их действия во взаимосвязи с физико-химическими свойствами.

Показано, что применение добавок ДКГМ-1 и ОКОВЖС-4 обеспечивает высокий пластифициру-

ющий эффект (с 115 мм до 200 мм по расплыву конуса). Равноподвижные растворы с добавками характеризуются повышением прочности при сжатии до 10–32% и прочности при растяжении при изгибе до 10–28% в сравнении с бездобавочным составом (рис. 3). При этом оптимальная концентрация анионной добавки составляет 0,2–0,4% от массы цемента, а оптимальное содержание ОКОВЖС находится в прямой зависимости от критической концентрации мицеллообразования (ККМ) этих добавок, что позволяет сделать вывод о назначении эффективных дозировок неионогенных ПАВ равным ККМ.

Экспериментально установлено полифункциональное действие анионной добавки ДКГМ-1 на свойства бетонной смеси и бетона. Полученная добавка оказывает сильное разжижающее действие на бетонную смесь (повышение подвижности на 8–14 см), способствует повышению воздухопроницаемости до 30%, что подтверждается гидрофобизирующим действием этой ПАВ.

Применение анионной добавки позволяет сэкономить 10–18% цемента; равнопрочные бетоны отличаются от бездобавочных повышенной морозостойкостью (в 1,3 раза), водонепроницаемостью (в 1,4 раза), пониженными на 20% деформациями усадки.

#### Список литературы

1. Батраков В.Г., Иванов Ф.М., Силина Е.С., Фаликман В.Р. Применение суперпластификаторов в бетоне: Обзор. Сер. Строительные материалы и изделия. М.: ВНИИСТ. 1982. 59 с.
2. А.С. № 14812119. Бетонная смесь / Сахибгареев Р.Р., Печеный Б.Г., Попов и др. // Оpubл. 1989. Б.И. № 19.
3. А.С. № 1573011. Сахибгареев Р.Р., Попов А.В., Мохов В.Н., Комохов П.Г. и др. // Оpubл. 1990. Б.И. № 23.
4. А.С. № 1514733. Вяжущее для бетонной смеси / Сахибгареев Р.Р., Комохов П.Г., Попов А.В. и др. // Оpubл. 1989. Б.И. № 38.
5. Джильберт Э.Е. Сульфирование органических соединений: Пер. с англ. М.: Химия. 1969. 416 с.
6. Левченко Д.Н., Бергштейн Н.В., Худякова А.Д., Николаева Н.М. Эмульсии нефти с водой и методы их разрушения. М.: Химия. 1967. 200 с.
7. Шенфельд Н. Поверхностно-активные вещества на основе оксида этилена. 2-е изд. М.: Химия. 1982. 750 с.
8. Адамсон А. Физическая химия поверхностностей: Пер. с англ. М.: Мир. 1979. 568 с.

А.Б. ЛИПИЛИН, гл. инженер ООО «СтройМеханика», руководитель ИТП «ТехПрибор»,  
Н.В. КОРЕНЮГИНА, инженер-технолог ООО «СтройМеханика»,  
М.В. ВЕКСЛЕР, инженер, ведущий специалист ИТП «ТехПрибор» (Тула)

## **Селективная дезинтеграторная активация портландцемента (СДАП)**

Проблема активации портландцемента с целью повышения его полезных свойств так же стара, как и сам портландцемент. И все же, несмотря на долгие годы теоретических изысканий и натурных опытов, отработанного энергоэффективного способа активации портландцемента, чтобы затраты на ее осуществление не превышали бы затрат на его производство, в настоящее время не существует.

Увеличение активности, а в большинстве случаев просто доработка поступающего на предприятия портландцемента заводского изготовления для приведения его в соответствие с заявленной маркой представляется особенно актуальным. В настоящее время, когда объемы строительства стремительно растут, дефицит портландцемента ощущается особенно остро. В создавшейся ситуации даже крупным потребителям часто приходится мириться с низкой начальной активностью портландцемента. Ажиотажный спрос обеспечивает сбыт материала низкого качества. К тому же многие цементные заводы на сегодняшний день просто не в состоянии улучшить качество выпускаемой продукции, так как износ основных фондов на конец 1996 г. составлял 57%, а на начало 2006 г. уже порядка 70% (статистические данные компании «ЕВРОЦЕМЕНТ»).

Справедливости ради необходимо отметить, что критическая ситуация, сложившаяся на рынке цемента, является следствием многих причин как технического, так и экономического характера. Цементная промышленность является одной из самых фондоемких подотраслей промышленности строительных материалов. Все предприятия находятся в частной собственности, поэтому рассчитывать на государственную поддержку модернизации не приходится, а собственных средств на это не хватает. Кроме того, практически свернуты научные исследования, направленные на повышение эффективности заводской технологии. Научные разработки прошлых лет практически не внедряются. Свой вклад в обострение проблемы вносит и низкая культура использования цемента в отечественном строительстве, и снижение его активности при неправильном хранении и нехватка качественных заполнителей для бетона, что также вызывает перерасход цемента.

В то же время именно в нашей стране на протяжении длительного времени проводились научно-исследовательские работы, направленные на увеличение вяжущих свойств портландцемента, обеспечение более полного использования потенциальной энергии минеральных вяжущих веществ, экономии энергии и топливных ресурсов [1].

Помол клинкера является основной технологической операцией, оказывающей определяющее влияние на активность получаемого цемента. Многие свойства портландцемента, в том числе активность и скорость твердения, зависят не только от химического и минералогического состава, но и от тонкости помола продукта [2].

Известно, что все твердые материалы, и цементный клинкер в том числе, характеризуются сопротивлением разрушению, причем на разных ступенях тонкого измельчения это сопротивление не одинаково. Существует общая закономерность: чем меньше размеры частицы, тем выше расход энергии, необходимой для ее разрушения. Так, при помоле цемента в шаровой мельнице до удельной поверхности 3000–3500 см<sup>2</sup>/г ее прирост практически пропорционален затраченной работе [2]; дальнейшее увеличение удельной поверхности сопровождается значительным повышением расхода энергии.

Шаровые мельницы при работе с высокодисперсными материалами характеризуются низкой эффективностью (на полезную работу измельчения расходуется не более 10% всей подводимой энергии), низкой избирательностью измельчения (измельчается весь размерный ряд цементных зерен).

Шаровые мельницы с открытым циклом измельчения применяют для помола клинкера до удельной поверхности 2500–3000 см<sup>2</sup>/г, в этом случае расход электроэнергии составляет 25–30 кВт·ч/т продукта. Для получения цемента с удельной поверхностью 3000–3500 см<sup>2</sup>/г и выше обычно применяют более экономичные мельницы, работающие в замкнутом цикле с воздушными классификаторами, одно- или двухкамерные. Чаще используют помольные установки с двухкамерными мельницами.

Однако широкое применение барабанных шаровых мельниц в производстве портландцемента — это прежде всего пример удачно найденного баланса между дисперсностью продукта, расходом энергии и технической надежностью оборудования.

Известно, что дисперсность цементного порошка, его зерновой состав, форма зерен зависят от вида помольного агрегата, применения открытого или замкнутого цикла измельчения, формы и размера мелющих тел, скорости свободного удара. Многочисленные опыты, проводившиеся как в нашей стране, так и за рубежом, свидетельствуют о значительном влиянии вида помольного агрегата на свойства цемента.

Метод ударного измельчения цементного зерна (дезинтеграторное измельчение) характеризуется достаточно узкой гранулометрией продукта; процентное содержание в порошке частиц средней фракции гораздо выше, нежели при других способах помола [3].

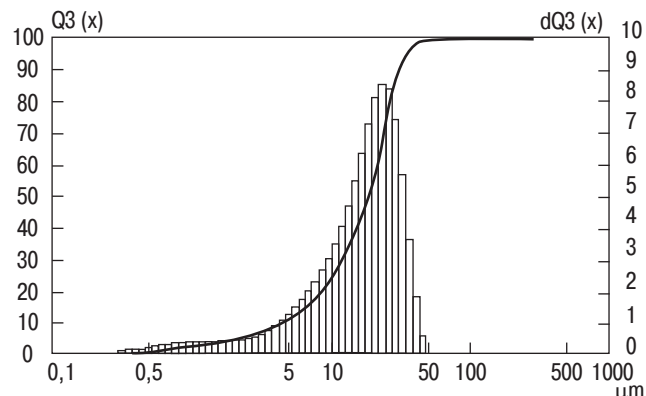
При дезинтеграторном измельчении цементного зерна, гранулометрические характеристики получаемого продукта в основном зависят от скорости свободного удара [4]. Для разрушения цементного зерна в зависимости от его размера необходима строго определенная энергия ударного воздействия. Чем выше скорость помольных бил (для дезинтегратора, центробежно-ударной мельницы) или скорость самой разрушаемой частицы (для струйной мельницы), тем меньше размер частиц в готовом продукте. Скорость помольных бил, либо самой разрушаемой частицы должна составлять не ме-

Таблица 1

Измельчительный агрегат	Массовая доля частиц размером, мкм, %										
	≤1	≤2	≤3	≤4	≤5	≤10	≤20	≤30	≤40	≤50	более 50
Дезинтегратор	0,68	4,55	3,13	2,77	2,98	10,32	30,65	27,5	11,43	4,77	1,29
Шаровая мельница	1,75	7,56	5,75	7,52	5,79	3,76	14,25	12,72	3,99	10,23	16,68

Таблица 2

Размер частиц цемента в мкм	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте		
	3 сут	7 сут	28 сут
Исходный цемент	12,9	19	27,9
До 10	24	26	26,8
10–20	22,8	24,2	25
20–40	15	15	24,5
40–60	1,7	3	9,2
60–90	0,8	1,5	6
Свыше 90	0,5	0,5	2



Гистограмма и интегральная кривая выделенной грубой фракции цементного порошка после дезинтеграторной обработки

нее 160 м/с, что обеспечивает увеличение удельной поверхности цементного порошка на 30–50% от его исходных показателей. При этом содержание частиц от 5 до 40 мкм в активированном цементном порошке может достигать 98%, а содержание частиц менее 5 и крупнее 40 мкм, будет гораздо ниже по сравнению с цементом, измельчаемым в шаровой мельнице. Соотношение основных фракций цементных зерен после дезинтеграторного измельчения ( $V_{max} = 160$  м/с) и помола в шаровой вибрационной мельнице показано в табл. 1.

Хорошо известно, что разные фракции цементного порошка оказывают влияние на прочность цемента, изменяют его водопотребность, пластичность цементного теста, скорость твердения. В связи с этим рекомендуется характеризовать активность цемента не только по удельной поверхности порошка, но и по зерновому составу.

Изучение эффективности тонкого измельчения и прочностных показателей отдельных фракций цементного порошка показало, что в возрасте 28 суток прочность полидисперсного исходного цемента выше прочности отдельных фракций (табл. 2).

Дальнейшими исследованиями было установлено, что частицы размерами 0–5 мкм оказывают решающее влияние на рост прочности цементного камня в первые часы твердения. Именно от частиц этого размера зависят сроки начала схватывания портландцемента. Частицы размером 5–10 мкм влияют на прочность цементного камня в 3–7-суточном возрасте, а фракция 10–20 мкм определяет прочность в 28-суточном и более позднем возрасте. Таким образом, измельчая один и тот же клинкер и соответственно изменяя долю частиц размером 5–20 мкм в общей массе цементного порошка, можно получать портландцемент марок 600, 700 и 700 БТЦ (быстротвердеющий цемент).

Итак, цементный порошок, получаемый в шаровых мельницах различного способа побуждения мелющих тел, характеризуется широким зерновым составом, при этом содержание основных (наиболее активных) фракций цементного зерна не поддается оперативной регулировке. В то же время при активации портландцемента совершенно необходимо получение материала узкой granulometрии именно средней фракции (10–40 мкм), которая должна пополняться в результате измельчения крупных, малоактивных цементных зерен [4].

Повысить активность портландцемента можно методом селективной дезинтеграторной активации.

В основе данного метода лежит комплексный подход как к выбору оптимальной модели разрушения цементного зерна с возможностью корректировки granulometрического состава цементного порошка, так и к аппаратному обеспечению, выполненному на основе промышленно выпускаемого технологического оборудования.

Использование данного метода позволяет увеличить долю цементных зерен средней, наиболее ценной фракции, получить частицы осколочной формы, и таким образом кардинально повысить вяжущие свойства портландцемента при минимальных энергозатратах и эксплуатационных расходах.

Первичная классификация позволяет своевременно удалить балластную, не требующую дополнительной переработки фракцию из общей массы активируемого портландцемента; при этом граница разделения может изменяться в зависимости от задач активации. Граничная крупность разделения цементных зерен изменяется путем настройки параметров работы воздушно-центробежного классификатора.

Возможность изменения граничной крупности разделения цементного зерна в зависимости от его размеров обеспечивает высокую маневренность при активации цемента низкого качества и позволяет выпускать активированные цементы заданного granulometрического состава и требуемой активности.

Товарный портландцемент рядовой активности подается на воздушно-центробежный классификатор «Прогресс МК», где из общей массы материала извлекается балластная фракция 0–20 мкм. Если исходный цемент имеет показатели удельной поверхности около 2500–3000  $см^2/г$  и остаток на сите № 008 около 8–10%, то первично отделенная фракция обычно составляет около 30–50% от общей массы. При этом показатели удельной поверхности цементного порошка первичной классификации в среднем составляют 5000–6000  $см^2/г$ .

Цементный порошок, не прошедший классификации, представлен частицами размерами более 20 мкм и имеет удельную поверхность 1000–1500  $см^2/г$ .

Из бункера грубой фракции материал подается в дезинтегратор «Горизонт-4500 МК Ultra» либо в агре-

гат измельчения ударного действия другого типа. Основное требование, предъявляемое к измельчителю оборудованию, используемому при помоле грубой фракции, это скорость соударения, которая не должна быть ниже 200 м/с, так как при более низких скоростях происходит разрушение только относительно крупных цементных зерен для измельчения частиц менее 40 мкм скорость соударения 200 м/с является минимально допустимой.

В результате дезинтеграторного измельчения грубая фракция цементного порошка получает прирост удельной поверхности около 500–1000 см<sup>2</sup>/г; при этом остаток на сите № 008 обычно отсутствует полностью, а остаток на сите № 006 составляет от 1 до 3%. Гранулометрический анализ выделенной грубой фракции цементного порошка после дезинтеграторной обработки представлен на рисунке.

Таким образом, цементный порошок, не прошедший первичной классификации после дезинтеграторного измельчения, характеризуется удельной поверхностью 1500–2500 см<sup>2</sup>/г и полным отсутствием частиц размером более 80 мкм. Анализ гранулометрического состава, проведенный на лазерном анализаторе размера частиц, позволяет говорить о высокой гранулометрической однородности полученного порошка, 95% которого представлено частицами размером менее 40 мкм, а 65% – размером менее 20 мкм, что соответствует оптимальному зерновому составу цементного порошка.

После измельчения дезинтегрированный цементный порошок смешивается с предварительно выделенной балластной фракцией. Для равномерного смешивания полученных фракций можно использовать центрифужный смеситель циклического действия, который

обычно применяется в производстве сухих строительных смесей, либо смеситель непрерывного действия, оснащенный дозаторами и автоматизированной системой управления подачи компонентов.

Использование весовых дозаторов непрерывного действия с автоматическим управлением обусловлено необходимостью строго выдерживать соотношение по массе между первично выделенной фракцией и дезинтегрированной частью цементного порошка.

На заключительной стадии производства активированного портландцемента – смешивании цементных фракций возможно введение активных минеральных добавок как природного происхождения, так и на основе технологических отходов производства.

Таким образом, для предприятий строительной отрасли, занятых в производстве бетона, ЖБ изделий и конструкций, помимо возможности эффективного повышения активности портландцемента открываются широкие перспективы производства композиционных вяжущих с задаваемыми характеристиками.

**Список литературы**

1. *Бутт Ю.М.* Быстротвердеющий портландцемент. Сб. трудов по химии и технологии силикатов. М., 1957. С. 199.
2. *Волженский А.В.* Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат. 1986. С. 186–201.
3. *Хинт И.А.* Основы производства силикальцитных изделий. М.: Госстройиздат. 1962. С. 503.
4. *Волженский А.В., Попов Л.Н.* Смешанные портландцементы повторного помола и бетоны на их основе. М.: Госстройиздат. 1961. С. 107.



**ТЕХПРИБОР**  
ЦЕНА/КАЧЕСТВО/СЕРВИС



**Дезинтегратор серии «ГОРИЗОНТ»**

**Механоактивация цемента**  
**Производство минеральных добавок**  
**Переработка техногенных отходов**  
**Производство высокодисперсных материалов**  
**Классификация**

Инженерно-технологическое подразделение «ТЕХПРИБОР» проектирует, производит и поставляет полный ассортимент технологического оборудования для переработки минерального сырья и техногенных отходов, производства фракционированных материалов, высокодисперсных порошков и активации цемента. Вашему вниманию представлены как отдельные технологические единицы, так и модульные комплексы высокого уровня готовности, позволяющие решать задачи дробления - помола, транспортировки - классификации, повышения полезных свойств - активации, смешивания - диспергирования различных материалов наиболее эффективным образом. Неизменно превосходные результаты производственной деятельности ИТП «ТЕХПРИБОР» основаны, прежде всего, на объединении научных, технических и производственных усилий для получения наилучших результатов.

Персонал лабораторно-технологического отдела ИТП «ТЕХПРИБОР» состоит из специалистов различного профиля, имеющих опыт научно-исследовательской и производственной работы, что позволяет нашему предприятию решать самые сложные производственные задачи.

Помимо непосредственно производственной деятельности ИТП «ТЕХПРИБОР» также осуществляет послегарантийное и сервисное обслуживание оборудования, разработку технической и технологической документации, лабораторные работы.



**Воздушно-центробежный классификатор серии «ПРОГРЕСС»**



**Модульный комплекс измельчения сыпучих материалов серии "МОЛОТ"**



**Роторная дробилка серии «ВЕЙДЕР»**

ИТП «ТехПрибор», РФ, г. Тула, пос. Рудаково, ул. Людина 6А; Тел: 8 (905) 626-79-10, 626-93-07, 8 (903) 658-62-41; Факс: 8 (4872) 33-09-78; ICQ: 218946684; e-mail: manager@tpribor.ru; www.tpribor.ru

Реклама

# Современные бетоны

## Славянский форум в Запорожье



Тема «Современные бетоны» не теряет своей актуальности и становится традиционной при проведении разнообразных научных и научно-технических конференций. Причины тому ясны и не требуют объяснений. Одна из таких конференций – «Дни современного бетона» ежегодно проводится на Днепре, в Запорожье с 30 мая по 1 июня. В 2007 г. состоялась Девятая научно-техническая конференция, она имела статус международной. Примечательно, что среди 180 ее участников были известные ученые из Украины, России, Белоруссии и Польши – своеобразный славянский форум бетонщиков. Их доклады определили высокий профессиональный, научно-прикладной характер конференции. В основном приехавшие на конференцию – производственники. Цель их участия – получение полной и достоверной информации, полезной для заводов товарного бетона и ЖБИ, строителей, возводящих сложные объекты в условиях обострения конкуренции, насыщения рынка новыми отечественными и импортными технологиями и строительными материалами.

Украину представляли профессор *П.В. Кривенко*, *М.А. Саницкий*, *Р.Ф. Рунова*, *В.В. Чистяков*, *С.В. Коваль*, *Л.А. Шейнич* и др. Автор данного сообщения подготовил доклад, в котором изложена аргументация важности освоения европейских норм EN 206-1 и др., рассматривая это как этап развития современных технологий бетона. Акцентировалось внимание на сложности, вызванных извечной нашей болезнью – некачественными компонентами бетона. В украинских докладах рассмотрены разнообразные аспекты модифицирования цементов и бетонов добавками пластифицирующего, ускоряющего, аэрирующего действия.

Интересные доклады представила большая группа российских ученых. Среди авторов – *В.Ф. Степанова*, *Н.К. Розенталь*, *Н.Ф. Башлыков*, *В.Р. Фаликман*, *Г.В. Невсетаев*, *В.И. Калашников*. В их докладах четко просматривалось развитие научных и практических работ по бетонам с комплексными добавками нового поколения и меры их эффективного использования для обеспечения высоких заданных свойств бетонных смесей и бетонов.

Белорусские участники *Н.П. Блещик*, *М.С. Марковский*, *Н.Н. Калиновская* поделились своим опытом решения проблем технологии современного, в том числе самоуплотняющегося, бетона и железобетона с использованием так называемых гиперпластификаторов и оригинальных опалубочных систем.

Высокий научный уровень продемонстрирован в докладе известного польского ученого профессора *В. Курдовски*. Его работа была посвящена задаче обеспечения совместимости системы цемент–добавка в зависимости от состава цемента, условий формирования этtringита, наличия растворимых щелочей и т. п. *В. Курдовски* совместно с одним из ведущих польских профессоров *Л. Чарнецки* подготовил также интереснейший доклад «Будущее бетона», в котором сделан прогноз тенденций,

концепций полезности, наукоемкости, единства подходов в науке и практике технологии бетона, а также к подготовке специалистов. Авторы доклада блестяще осведомлены о состоянии мировой науки о цементах, добавках, бетоне. Они убеждены, что будущее бетона должно базироваться на постоянно развивающемся знании исследовательского и инженерного персонала.

Практическую ценность представил доклад доктора наук *Зб. Гергичны*, руководителя технического бюро одного из лучших польских цементных заводов «Гураждже» концерна «Heidellberg Cement». В докладе также основное внимание обращено на нормы EN 206-1 в связи с наметившимся дефицитом цемента, актуальностью снижения содержания клинкерной доли и ориентацией стройиндустрии на производство композиционных вяжущих и их использование в бетонах нового поколения.

Любопытно, что участники конференции – производственники, чей инженерный уровень, как следует из систематического общения, значительно вырос, с интересом слушали глубокие научные доклады. Интерес этот вызван стремлением разобраться не только в конечных эффектах действия добавок, но и в особенностях их взаимодействия с цементами в различных климатических условиях изготовления изделий и конструкций. Очевидно, что этап простого использования добавок на производстве завершается.

Естественна важность контактов между участниками конференции, обмен информацией, опытом. Конференция – своеобразные курсы повышения квалификации, хотя для завершенности очень желательны занятия по типу лабораторно-технологических. Такие попытки ранее неоднократно предпринимались организатором конференции – компанией «Будиндустрия».

К IX конференции подготовлено новое издание справочного пособия «Бетоны, строительные растворы и сухие строительные смеси с добавками системы «Релаксол»®. В нем помимо детальных сводных таблиц свойств, рекомендаций и примеров применения комплексных добавок системы «Релаксол»® в технологических целях содержатся доступные физико-химические сведения о механизмах действия компонентов добавок. Актуален терминологический раздел, заимствованный из EN 206-1.

Конференция выполнила свои функции на надлежащем уровне. Можно выразить уверенность, что развивающаяся строительная индустрия получает определенный положительный импульс. Поэтому мы приглашаем к дальнейшему сотрудничеству с компанией «Будиндустрия» и к участию в 2008 г. в X Международной научно-практической конференции «Дни современного бетона».

**А.В. Ушеров-Маршак**,  
научный руководитель;  
**Т.В. Бабаевская**,  
ученый секретарь конференции

## Влияние добавок молотого кварцевого песка на кинетику твердения композиционного шлакощелочного вяжущего

Мировое развитие производства минеральных вяжущих веществ в последние десятилетия характеризуется расширением исследований и производства композиционных, малоклинкерных и бесклинкерных вяжущих с минеральными добавками природного и техногенного происхождения [1, 2]. Одной из эффективных разновидностей бесклинкерных вяжущих являются шлакощелочные (ШЩВ), в разработке которых отечественной наукой имеются значительные достижения [3]. В 80–90-е гг. были разработаны нормативные требования к сырьевым компонентам, составам и свойствам ШЩВ, бетона (ШЩБ), изделий и конструкций из него и технологии его производства. Высокие показатели свойств ШЩБ, подтвержденные многолетней эксплуатацией конструкций из него, позволили рекомендовать его для транспортного, промышленного, мелиоративного, коммунального и жилищного строительства. Однако положительный опыт производства и применения ШЩВ и ШЩБ в нашей стране не получил должного развития. Вместе с тем все повышающиеся требования по ресурсосбережению и охране окружающей среды, в том числе в производстве вяжущих веществ и бетона, делают необходимыми дальнейшие исследования по разработке

ШЩВ и ШЩБ и развитие их производства. Развитие производства таких вяжущих особенно актуально для регионов России, не располагающих значительными запасами сырья для производства цемента. Минеральной добавкой в композиционные вяжущие на основе ШЩВ могут быть молотые кварцевые пески в связи с их повсеместной распространенностью, доступностью и практически неисчерпаемыми запасами [4].

Исследования [5] влияния добавок кварцевого песка на свойства композиционного шлакощелочного вяжущего (КШЩВ) на основе нейтрального и кислого шлаков показали, что независимо от вида шлака КШЩВ, полученное помолом шлака до дисперсности 300 м<sup>2</sup>/кг и последующим смешиванием его с 20% молотого до удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг кварцевого песка, позволяет получать равнопрочные с бездобавочными ШЩВ вяжущие при затворении водным раствором кальцинированной соды при нормально-влажностном твердении. При тепловлажностной обработке камня равнопрочное с бездобавочным КШЩВ получено при содержании 30% указанной добавки.

Введение добавок молотого до 200 м<sup>2</sup>/кг кварцевого песка позволяет получить равнопрочное с бездобавочным вяжущее при содержании добавки 10%. Повышенные степени дисперсности кварцевого песка до 800 м<sup>2</sup>/кг экономически нецелесообразно.

В настоящей работе приведены результаты исследований кинетики твердения в различных условиях КШЩВ с содержанием 20% молотого кварцевого песка с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг.

Для исследований использовались шлакощелочные вяжущие на основе доменных шлаков металлургических комбинатов Орско-Халиловского (ОХМК) и Челябинского (ЧМК), характеристика составов которых приведена в таблице, и щелочного затворителя – кальцинированной соды ГОСТ 5100–85, марка Б, сорт 1. В качестве тонкодисперсной минеральной добавки применялся молотый кварцевый песок (КП), полученный из местного обогащенного песка. Помол компонентов вяжущего производился на лабораторной планетарной мельнице МПЛ-1.

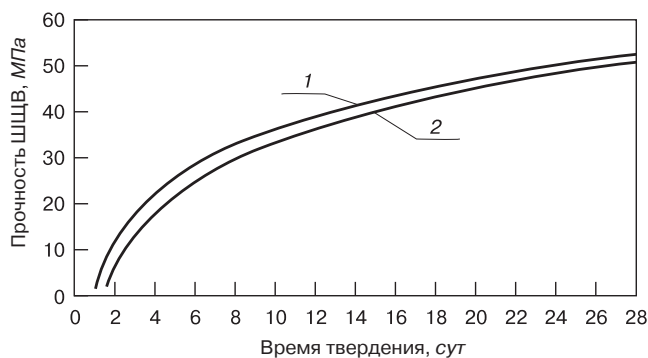


Рис. 1. Влияние добавки кварцевого песка на интенсивность набора прочности КШЩВ на основе шлака ОХМК в первые 28 сут нормально-влажностного твердения: 1 – контрольный ОХМК; 2 – ОХМК с добавкой 20% кварцевого песка

Шлак	Содержание в % на абсолютно сухую навеску												Mo	Ma
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	ППП		
ОХМК	39,3–40,02	8,22–10,4	0,25–0,36	<0,1	0,36–0,47	40–42,02	6,26–7,6	0,44–0,58	0,39–0,66	0,01–0,04	1,27–1,45	0,8–1,05	0,978–1,011	0,205–0,265
ЧМК	36,51–37,49	11,58–12,5	1,1–1,8	0,09–0,16	0,5–0,61	34,6–36,22	8,61–9,12	0,53–0,64	0,75–0,95	<0,01	1,82–2	0,41–0,75	0,892–0,914	0,309–0,342

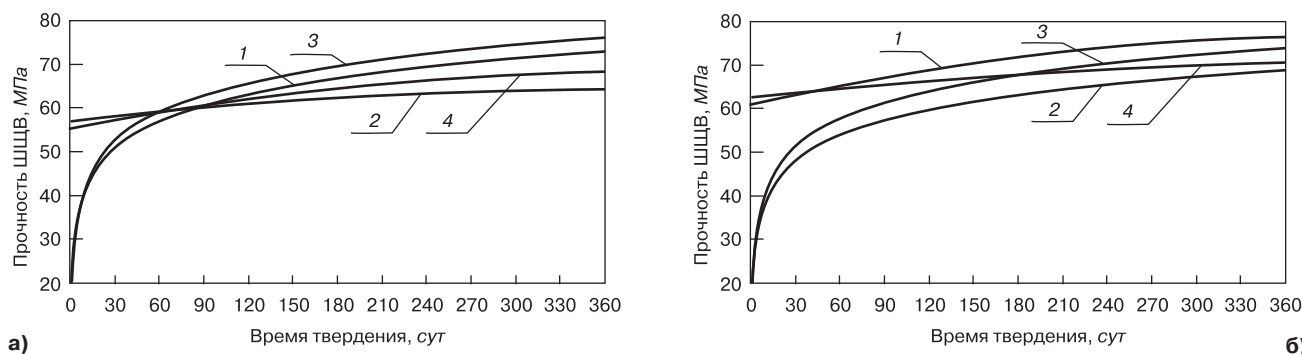


Рис. 2. Влияние добавки кварцевого песка на прочность КШЩВ на основе шлака ОХМК (а) и ЧМК (б) при твердении в нормально-влажностных условиях в течение 1 года: 1 – бездобавочный, твердение в нормально-влажностных условиях; 2 – бездобавочный, после ТВО; 3 – содержание добавки 20%, твердение в нормально-влажностных условиях; 4 – содержание добавки 20%, после ТВО

Испытания камня на прочность проводилось после твердения в нормально-влажностных условиях и после тепловлажностной обработки по режиму 4+3+6+3 с изотермической выдержкой при 95°C.

Исследование кинетики твердения в течение 28 сут в нормально-влажностных условиях бездобавочного и с добавкой молотого КП шлакощелочного вяжущего показывает, что введение молотого кварцевого песка приводит к замедлению твердения вяжущего в первые 28 сут после затворения. Так, при введении добавки с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг прочность камня КШЩВ снижается на третьи сутки на 21%, а на седьмые – на 19% по сравнению с соответствующими показателями камня бездобавочного вяжущего.

Важным показателем эффективности использования минеральных добавок является их влияние на прочность вяжущих в длительный период твердения (рис. 1). Отсутствие падения прочности цементного камня в течение всего периода эксплуатации изделий является необходимым условием применения добавок [4].

Исследование кинетики набора прочности камня бездобавочного и КШЩВ на основе шлаков ОХМК (рис. 2а) и ЧМК (рис. 2б) в течение года в условиях нормально-влажностного твердения, в том числе предварительно подвергнутых тепловлажностной обработке, показало, что прочность камня КШЩВ на основе шлака ОХМК с добавкой кварцевого песка, прошедших ТВО, повысилась за указанный период на 24%. Прочность камня бездобавочного вяжущего при этом повысилась на 15%.

Прочность камня вяжущего с добавкой молотого КП, твердевшего в нормально-влажностных условиях, повысилась за год на 47%. Образцы бездобавочного вяжущего в аналогичных условиях повысили свою прочность на 33%.

При использовании шлака ЧМК прочность камня КШЩВ с добавкой кварцевого песка после ТВО повысилась за год на 26%, а прочность бездобавочного вяжущего – на 18%. Образцы камня КШЩВ, твердевшие в нормально-влажностных условиях, повысили свою прочность на 48% против 35% у бездобавочного состава.

Как известно [4], введение молотого кварцевого песка в портландцемент замедляет интенсивность набора прочности вяжущего при длительном твердении. Одна-

ко приведенные выше результаты экспериментов показали, что в отличие от портландцемента введение кварцевого песка в ШЩВ приводит к более интенсивному росту прочности смешанного вяжущего в поздние сроки твердения. По всей видимости, это связано с более высокой растворимостью кварца в условиях повышенного значения рН. В результате этого пространство между матрицей и наполнителем постепенно заполняется новообразованиями. Вероятно, по мере заполнения контактной зоны новообразованиями темпы роста прочности КШЩВ с кварцевым наполнителем понизятся, поскольку общее содержание активной фазы (доменного шлака) в них меньше, чем в бездобавочном вяжущем.

Таким образом, введение добавок молотого кварцевого песка приводит к падению темпов нарастания прочности КШЩВ в первые 3–7 сут твердения на величину до 20%. Однако при длительном твердении в течение одного года прочность камня КШЩВ с добавками молотого кварцевого песка нарастает.

#### Список литературы

1. *Малинина Л.А.* Железобетон в XXI веке. Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России. М.: Готика. 2001. 240 с.
2. *Баженов Ю.М., Рахимов Р.З.* Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения // *Материалы десятых академических чтений РААСН «Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения».* Пенза–Казань, 24–29 апреля 2006. С. 3–7.
3. *Глуховский В.Д., Пахомов В.А.* Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: Будивельник. 1978. 280 с.
4. *Волженский А.В., Попов Л.Н.* Смешанные цементы повторного помола и бетоны на их основе. М.: Госстройиздат. 1961. 197 с.
5. *Гатауллин Р.Ф., Хабибуллина Н.Р.* Исследование возможности использования отработанных формовочных смесей и кварцевого песка в составе шлакощелочных вяжущих // *Труды аспирантов 57-й республиканской научно-технич. конф. Казань, 4–9 апреля 2005.* С. 125–130.

### специальная литература

#### Дайджест «Сухие строительные смеси».

Содержит около 100 статей, опубликованных в журнале «Строительные материалы»<sup>®</sup> в 1998–2003 гг.

По вопросам приобретения обращайтесь в редакцию журнала «Строительные материалы»<sup>®</sup>

Тел.: (926) 833-48-13, тел./факс:(495) 124-32-96, 124-09-00 E-mail: mail@rifsm.ru www.rifsm.ru



П.К. ХАРДАЕВ, д-р техн. наук, Е.В. ГОНЧИКОВА, канд. техн. наук,  
А.В. УБОНОВ, инженер, Восточно-Сибирский государственный  
технологический университет (г. Улан-Удэ, Республика Бурятия)

## **Смешанные вяжущие на основе вулканических пород Забайкалья**

Темпы роста строительства в Республике Бурятия определяют необходимость более взвешенного подхода к расходованию основных стройматериалов, в частности цемента.

Минеральные добавки, введенные в вяжущее или бетон, позволяют сократить расход цемента или повысить проектную марку бетона и получить изделия и конструкции с заданными свойствами и меньшей себестоимостью, а также способствуют более полной гидратации минералов клинкера и формированию определенной микроструктуры бетона.

Неисчерпаемые запасы природных пористых материалов, к числу которых относятся вулканические шлаки, являются прекрасным сырьем для производства эффективных строительных материалов в Республике Бурятия.

К сожалению, это уникальное сырье до настоящего времени используется нерационально, в частности, при синтезе на его основе искусственных строительных конгломератов не востребованы энергетические возможности, заложенные природой в эти породы.

Возможная экономия клинкерной составляющей в вяжущих материалах 50% и более за счет применения активных минеральных добавок значительно повышает водопотребность таких вяжущих. Повышенная водопотребность является недостатком всех тонкомолотых цементов, что способствовало разработке вяжущих низкой водопотребности (ВНВ). Особенностью ВНВ является многовариантность составов и свойств вяжущих. От традиционных портландцементов ВНВ отличается более узким гранулометрическим составом, характеризующимся повышенным относительным содержанием частиц фракции 0–20 мкм. Смеще-

ние диаметра частиц ВНВ в область более низких значений и повышение дисперсности вяжущего в целом не приводят к обычно отмечаемым в таких случаях отрицательным последствиям – увеличению водопотребности и ускорению потери активности при длительном хранении [1].

Авторами проведены исследования по получению смешанных вяжущих низкой водопотребности на основе вулканических пород Забайкалья, полученных совместным измельчением портландцемента, кремнеземистого компонента и суперпластификатора до различной степени дисперсности.

Для снижения энергоемкости производства вяжущих веществ и бетонов необходимо научно обоснованное управление энергетическими затратами на их производство. Большое число факторов, влияющих на изменение энергоемкости вяжущих и бетонов, можно условно разделить на две группы – внутренние и внешние. Ряд внешних факторов, таких как способ тепло-влажностной обработки, характеристики теплоносителя, могут приниматься как постоянные. При выполнении этого условия для сравнения энергозатрат при производстве различных вяжущих материалов решающее значение приобретают такие внутренние факторы, как изменение состава вяжущих, физическое (энергетическое) состояние компонентов, дисперсность, вид измельчительного оборудования для тонкого помола вяжущих [2].

Эти факторы использованы для выявления наиболее рационального, наименее энергоемкого способа механоактивации природных сырьевых материалов Забайкалья для получения смешанных вяжущих.

**Таблица 1**

Месторождение	Основные оксиды, %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O
Хурай-Хобок	44–47	15–19	2,6–2,8	7,7–8	1,2–2	7,3–8,6	6,2–9,9	2–4,5
Хурай-Цакир	43,2–44,92	14,74–14,84	11,72–13,22	1,36–3,34	0,78–1,07	5,32–5,41	6,95–7	6,25–7,45

**Таблица 2**

Содержание добавок, мас. %		Прочность образцов, МПа, после					
		пропаривания		твердение в течение 7 сут		твердение в течение 28 сут	
ВШ	С-3	Изгиб	Сжатие	Изгиб	Сжатие	Изгиб	Сжатие
–	–	3,8	28,4	3,4	26	5,4	41
30	0,8	4,85	34,8	3,9	29,7	5,6	46,8
40	0,8	4,6	29,8	3,7	28	5,5	44,1
50	1	4	28,3	3,5	26,3	5	41,5



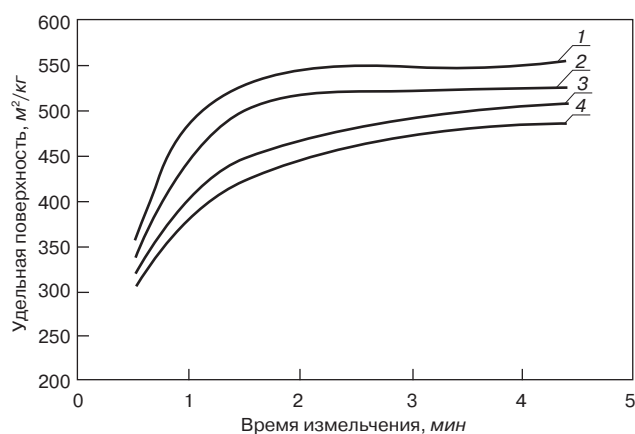


Рис. 1. Влияние времени активации на тонкость помола: 1 – сухая активация ВШ + 1% С-3, виброистиратель; 2 – то же, планетарная мельница; 3 – сухая активация ВШ + Ц, виброистиратель; 4 – то же, планетарная мельница

Для получения смешанных вяжущих и легких бетонов на их основе в качестве исходных компонентов использовались вулканические шлаки (ВШ) Хурай-Хобокского, Хурай-Цакирского месторождений Республики Бурятия, химический состав которых приведен в табл. 1, и портландцемент ПЦ400 Тимлюйского цементного завода Республики Бурятия.

Портландцемент имеет следующий химический состав по оксидам, %:  $\text{SiO}_2$  – 20,8;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 6,68;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2,37;  $\text{CaO}$  – 66;  $\text{MgO}$  – 3,8;  $\text{SO}_3$  – 0,29; прочие – 0,062.

Количество минеральной добавки в составе вяжущих изменяли в диапазоне 5–50%. Основные физико-механические показатели смешанных вяжущих оценивали по ГОСТ 310.2–81, ГОСТ 310.4–81, бетонных смесей – по ГОСТ 10181–2000 и бетонов – по ГОСТ 10180–90.

Проведенные исследования показали, что повышение эксплуатационных свойств легкого бетона и снижение затрат на его получение может быть достигнуто путем предварительной обработки вяжущих веществ в аппаратах с высокой энергонапряженностью и интенсивностью, что обуславливает повышение реакционной способности компонентов. Реакционная активность порошкообразного сырья зависит от формы, размеров, характера поверхности частиц, зернового состава дисперсной системы, которая, в свою очередь, определяется характером воздействия на измельчаемый материал.

Механоактивацию вяжущих веществ осуществляли ударно-истирающим способом с различной интенсивностью воздействия в шаровых и планетарных мельницах; истирающим способом в стержневом виброистирателе. В этих измельчителях при получении тонкодисперсных композиционных материалов возможна передача материалу максимального количества энергии, а величина ускорения частиц достигает нескольких десятков g.

Для уменьшения эффекта агломерации и увеличения интенсификации помола перед механоактивацией в состав смешанного вяжущего вводилась добавка – интенсификатор помола, в качестве которой использовали суперпластификатор С-3.

Вулканический шлак, портландцемент и суперпластификатор С-3 предварительно смешивали, а затем подвергали совместной механоактивации до значения удельной поверхности  $S_{уд} = 400–450 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Введение пластифицирующей добавки С-3 в состав вяжущих позволило снизить их водопотребность в среднем на 10–15% при увеличении прочности на 15–20%.

Определение оптимального времени активации вяжущего имеет существенное значение для формирова-

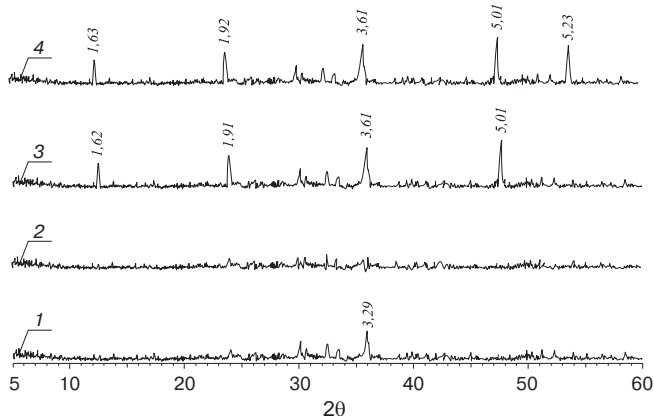


Рис. 2. Рентгенофазовый анализ смешанного вяжущего на основе вулканических шлаков: 1 – исходная порода; 2 – исходная порода с  $S_{уд} = 460 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 3 – вяжущее с  $S_{уд} = 460 \text{ м}^2/\text{кг}$ , измельченное в шаровой мельнице; 4 – вяжущее с  $S_{уд} = 460 \text{ м}^2/\text{кг}$ , измельченное в виброистирателе

ния его начальной структуры. Для этого важно определить оптимальную величину удельной поверхности исследуемого материала. Необоснованное увеличение времени активации приведет к увеличению себестоимости готового продукта за счет увеличения энергетических затрат на помол вяжущих и к дополнительному износу оборудования. Оптимальное время активации смешанного вяжущего (рис. 1) составило 2–3 мин.

Результаты экспериментального определения прочности образцов при различных режимах твердения приведены в табл. 2. Из приведенных данных следует, что активность полученных вяжущих выше активности исходного цемента. Рост гидратационной активности смешанных вяжущих на основе вулканических шлаков связан с дефектообразованием и аморфизацией кристаллической решетки в процессе механоактивации.

Рентгенофазовый анализ (рис. 2) показал наличие гидросиликатов кальция типа CSH(I) и CSH(B) в виде геля с низкой степенью закристаллизованности, гидросиликатных, гидроалюмосиликатных гелей, состоящих из субмикрочастиц кристаллических фаз  $\text{C}_2\text{ASH}_8$ ,  $\text{C}_2\text{SH(A)}$  и др.

Анализ зависимости морфологии частиц от способа измельчения показал, что при измельчении материалов на стержневом виброистирателе наблюдаются более тонкие, плоские и окатанные зерна; содержание мелких фракций значительно выше по сравнению с ударно-истирающей активацией. Это обуславливает более высокую степень гидратации и прочность смешанных вяжущих, полученных помолем в виброистирателе.

За счет механоактивации смешанного вяжущего произошло снижение агломерационных процессов при измельчении и сокращен тепловлажностный режим обработки.

Проведенная технико-экономическая оценка показала, что использование полученных смешанных вяжущих низкой водопотребности для производства легких бетонов позволяет снизить уровень энергетических затрат при производстве изделий из них.

### Список литературы

1. Бабаев Ш.Т., Башлыков Н.Ф., Гольдинина И.Я. Высокопрочные цементные композиции на основе вяжущих низкой водопотребности // Бетон и железобетон. 1990. № 2. С. 8–10.
2. Цыремпилов А.Д., Заяханов М.Е., Хардаев П.К., Хамаганов С.Д. Эффективные вяжущие и бетоны на основе эффузивных пород. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ. 1999. 347 с.

Р.Р. ГАЛЕЕВ, инженер, И.В. КОЛЕСНИКОВА, Р.К. НИЗАМОВ, кандидаты техн. наук, Л.А. АБДРАХМАНОВА, В.Г. ХОЗИН, доктора техн. наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет

## Применение тонкодисперсных шлаков для производства поливинилхлоридных материалов

Минеральные техногенные отходы, в частности металлургические и другие шлаки, являются ценным минеральным сырьем для производства различных видов строительной продукции – вяжущих, шлакобетонов, асфальтобетонных смесей, керамических материалов и др. В полимерных материалах строительного назначения, в частности линолеумах, профильно-погонажных изделиях, сайдинге, высокопрочных трубах, где в качестве базового полимера выступает поливинилхлорид (ПВХ), в рецептуре содержатся наполнители. Они необходимы для снижения полимероемкости, улучшения физико-механических характеристик, снижения горючести пластифицированных материалов, повышения свето- и радиационной стабильности за счет экранирующего действия и т. д. [1–4].

Все шлаки, кроме чугунолитейного, в исходном состоянии являются высокодисперсными частицами и не требуют дополнительного помола. Данные по определению уровня удельной активности радионуклеидов позволяют их использовать при производстве строительных материалов. В табл. 1 приведен перечень рассматриваемых шлаков, их основной состав и дисперсность. Кроме приведенных в табл. 1 оксидов в составе шлаков присутствует  $K_2O$  (менее 0,4%),  $TiO_2$  (менее 0,5%),  $SO_3$  (в ЖОШ 4,6 а в остальных менее 0,2%). Фазовый состав шлаков изучали на рентгеновских дифрактометрах ДРОН-3 и D8 ADVANCE фирмы Bruker.

По увеличению основности шлаки располагаются в следующий ряд: ЖОШ ( $M_{осн}=0,22$ ) → ПЧЛ ( $M_{осн}=0,87$ ) → ЭФШ ( $M_{осн}=1,05$ ) → ФХШ ( $M_{осн}=1,93$ ).

Наиболее важными показателями влияния шлаков на технологические и эксплуатационные свойства ПВХ являются перерабатываемость, которую можно оценить по показателю текучести расплава композиций, и термостабильность, оцениваемая по времени начала выделения

свободного хлористого водорода в результате разложения ПВХ при действии температуры.

Влияние химического состава наполнителей на их модифицирующее действие на полимеры зависит от минерального состава, так как температура переработки полимерной композиции значительно ниже возможных химических изменений в структуре наполнителей. Если химический и минеральный составы отходов в основном влияют на термостабильность ПВХ-материалов, то их перерабатываемость и механические свойства в первую очередь будут определяться дисперсностью частиц наполнителя.

По содержанию пластификаторов ПВХ-композиции могут быть жесткими (до 10 мас. %), полужесткими (10–30 мас. %) и мягкими (более 30 мас. %). При введении наполнителя в пластифицированные ПВХ-композиции важно, чтобы не снижалась эффективность пластификатора. Разрыхление структуры полимера при наполнении, а также способность наполнителей поглощать пластификатор могут значительно снизить эффект пластификации и повысить потери пластификатора при нагревании ПВХ-материалов. Это в первую очередь отрицательно отражается на изменении вязкости расплавов и механических свойств материалов. Зависимость свойств пластифицированных ПВХ-композиций от содержания наполнителей показана на рис. 1, 2.

Основной характер ФХШ, ЭФШ и ПЧЛ, обусловленный содержанием на поверхности частиц наполнителей ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  в составе силикатов и алюмосиликатов соответствующих металлов, приводит к образованию плотных адсорбционных слоев и последующих разрыхленных граничных слоев. Поэтому в присутствии этих наполнителей наблюдается снижение прочности ПВХ-образцов. Однако в зависимости от типа наполнителя относительное снижение прочности различно (рис. 1), причем все

Таблица 1

Наименование шлака и условное обозначение	Минеральный состав	Удельная поверхность, $см^2/г$	Содержание основных оксидов на массу абсолютно сухой навески, %								
			$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3 + FeO$	$CaO$	$MnO$	$MgO$	$Na_2O$	$P_2O_5$	$Cr_2O_3$
Чугунолитейный (ПЧЛ)	Диоксид, шпинель, геленит, обломочные породы: аллит, кварц, альбит, оксид магния	7800	39,1	7,47	8,27	14,17	1,47	26,43	0,26	0,05	–
Феррохромовый (ФХШ)	Основная фаза – $\gamma$ -форма ортосиликата кальция	16700	26,16	5,26	1,03	47,08	0,07	13,68	0,01	0,01	6,31
Электрофосфорный (ЭФШ)	Стеклофаза, включающая кристаллические образования шпинели, форстерита	16400	42,5	4,9	0,4	45,35	–	4,19	0,3	0,02	0,47
Металлургический (ЖОШ)	Основная фаза – гематит	135300	8,26	2,17	78,64	1,98	0,03	0,31	0,14	<0,01	–

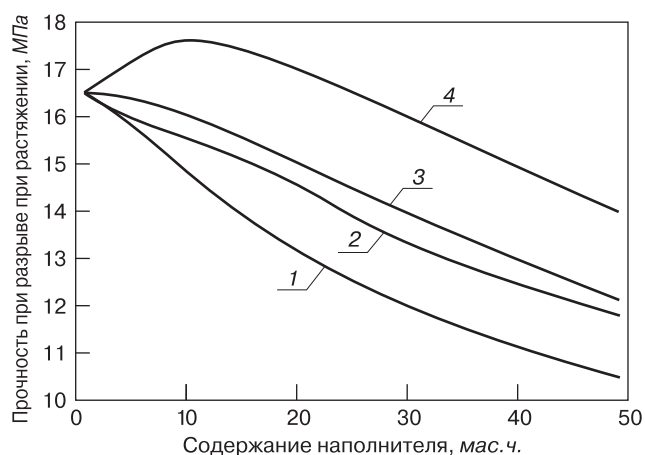


Рис. 1. Зависимость прочности пластифицированных ПВХ-композиций от содержания наполнителей: 1 – ПЧЛ; 2 – ФХШ; 3 – ЭФШ; 4 – ЖОШ

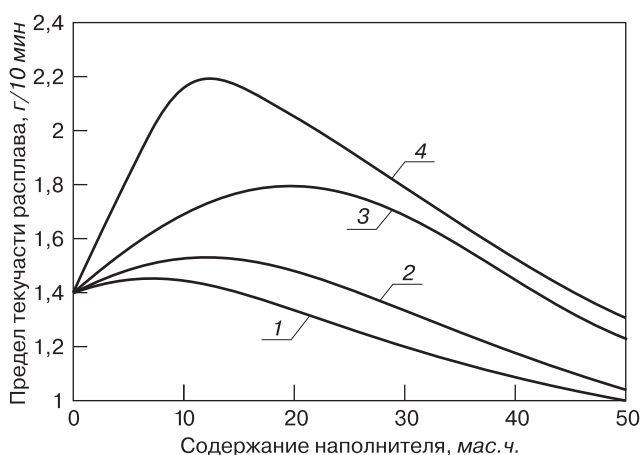


Рис. 2. Зависимость показателя текучести расплава пластифицированных ПВХ-композиций от содержания наполнителей: 1 – ПЧЛ; 2 – ФХШ; 3 – ЭФШ; 4 – ЖОШ

Таблица 2

Показатель	Вид наполнителя					
	Без наполнителя	Мел	ПЧЛ	ФХШ	ЭФШ	ЖОШ
Прочность при разрыве при растяжении, МПа	37	34	33	39	32	41
Термостабильность, мин	13	17	25	34	21	28
Показатель текучести расплава, г/10 мин	1,4	3,4	2,8	3,7	4,8	3,4
Водопоглощение, мас. %	0,28	0,48	0,4	0,3	0,36	0,18

они имеют преимущество перед традиционным наполнителем – мелом. Лучшие показатели получают при наполнении ЖОШ, введение которого до 20–30 мас. ч. приводит к некоторому возрастанию прочности.

Все рассмотренные наполнители хорошо совмещаются с ПВХ при переработке на вальцах. Показатель текучести расплава ПВХ-композиций практически со всеми видами отходов при наполнении до 20–30 мас. ч выше или на уровне ненаполненной композиции (рис. 2). Показатель текучести расплавов композиций, наполненных ЖОШ, по сравнению с ненаполненной композицией возрастает более чем в 1,5 раза. Введение ЖОШ, обладающего наиболее высокой дисперсностью (более 40% частиц с размером менее 0,1 мкм) при невысокой адсорбционной активности, позволяет пластификатору проявлять себя более полно, чем при введении других тонкодисперсных отходов этой группы.

В составе жестких ПВХ-композиций в большей степени проявляется влияние наполнителей на перерабатываемость и механические показатели.

Свойства жестких ПВХ-композиций (100 мас. ч. ПВХ + 10 мас. ч. диоктилфталата + 10 мас. ч. наполнителя) приведены в табл. 2.

Из представленных данных можно сделать следующие выводы:

- прочность при разрыве при растяжении в присутствии ЖОШ и ФХШ выше, чем в присутствии других наполнителей, а также в композиции без наполнителя;
- показатель текучести расплава при введении всех наполнителей повышается, что приводит к улучшению перерабатываемости и соответственно к повышению динамической стабильности композиции, благодаря снижению сдвиговых напряжений на перерабатываемом оборудовании;
- на термостабильность ПВХ шлаки почти не оказывают заметного влияния; повышение данного показателя наблюдается лишь при введении наиболее однородного по минеральному составу ФХШ. Си-

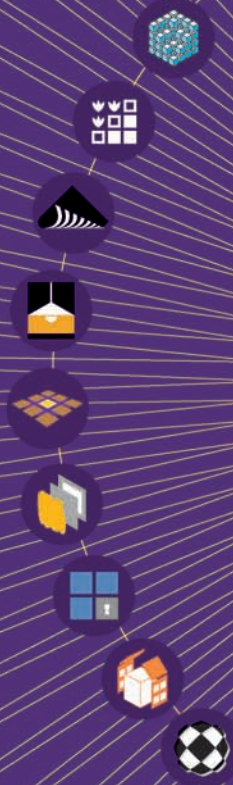
ликаты кальция, являясь механостабилизаторами [5], повышают устойчивость полимера к механическим воздействиям, они могут частично выполнять роль акцепторов хлористого водорода, повышая, как стабилизатор экранирующего действия, цветостойкость;

- рост водопоглощения ПВХ при наполнении шлаками, особенно ЖОШ, значительно ниже по сравнению с мелом.

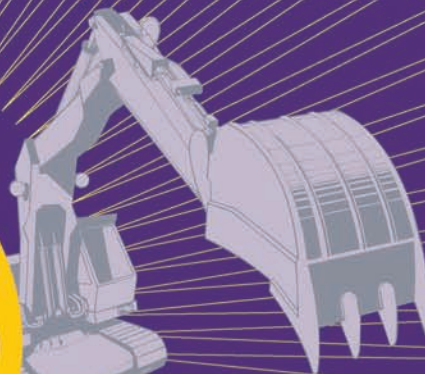
Обобщая полученные данные, можно заключить, что по комплексу технологических и эксплуатационных показателей наилучшим модифицирующим действием обладают феррохромовый и металлургический шлаки. В полужестких и мягких композициях они эффективны в количестве 20–30 мас. ч. на 100 мас. ч. ПВХ, а в жестких – до 10 мас. ч.

#### Список литературы

1. Низамов Р.К., Нагуманова Э.И., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г. Поливинилхлоридные материалы, наполненные тонкодисперсными отходами деревообработки // Строит. материалы. 2004. № 4. С. 14–16.
2. Низамов Р.К., Галеев Р.Р., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г., Наумкина Н.И., Лыгина Т.З. Обоснование эффективности наполнения ПВХ-композиций тонкодисперсными отходами металлургических производств // Строит. материалы. 2005. № 7. С. 18–19.
3. Низамов Р.К., Галеев Р.Р., Нагуманова Э.И. Наполнение и модификация ПВХ-строительных материалов отходами металлургических производств // Материалы НТК «Долговечность строительных материалов и конструкций». Саранск. 2005. С. 88–91.
4. Низамов Р.К., Нагуманова Э.И., Галеев Р.Г., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г. Модификация ПВХ-композиций отходами металлургических производств // Изв. вузов. Строительство. 2006. № 3–4, С. 47–50.
5. Минскер К.С., Федосеева Г.Т. Деструкция и стабилизация поливинилхлорида. М.: Химия. 1979. 272 с.



# 16-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ НЕДЕЛЯ



НА ПРАВАХ РЕКЛАМЫ

**Более 700  
фирм-участниц!**


Базовые выставки Федерального агентства  
по строительству и ЖКХ (Росстрой)  
Базовые выставки строительных комплексов стран СНГ

## 17–21 ФЕВРАЛЯ 2008

Москва,  
КВЦ «Сокольники»

**ОРГАНИЗАТОРЫ:**

Федеральное агентство  
по строительству и ЖКХ (Росстрой),  
Российская ассоциация  
производителей обоев «Рособои»,  
Союз производителей цемента «Союзцемент»,  
Международный Выставочный холдинг MVK

**ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:**

НП «АВОК»,  
НА производителей стальных гнутых профилей,  
Ассоциации производителей  
трубопроводов с ППУ-изоляцией,  
Национальной ассоциации  
автоклавного газобетона,  
Ассоциации независимых продавцов  
строительной керамики

**ДИРЕКЦИЯ ВЫСТАВКИ:**

Тел./факс.: (495) 105-34-97, 105-34-19  
E-mail: [stroy@mvk.ru](mailto:stroy@mvk.ru), [info@mvk.ru](mailto:info@mvk.ru)

**ВЫСТАВКИ:**

**СТРОЙТЕХ 2007**

Салон **ОБОРУДОВАНИЕ** ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
Салон **СТРОИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНАЯ ТЕХНИКА**  
Салон **ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ** ДЛЯ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА  
Салон **СЕЙСМОБЕЗОПАСНЫЕ, БЫСТРОВЗВОДИМЫЕ И МОБИЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ**  
Салон **ИНЖЕНЕРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ**  
Салон **МАЛОЭТАЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**


**RFI (Кровля и изоляция)**

Салон **ФАСАДНЫЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**


**BETONEX (Цементы, бетоны)**

Салон **АВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН**


**SWE (Мир окон и дверей)**

Салон **СТЕКЛО И ФАСАДЫ**


**BAUSTEIN (Керамика и камень в строительстве)**

Салон **СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА (Кирпич)**


**WALLDECO (Отделочные материалы)**

Салон **LIGHTEXPO (Мир света)**  
Салон **CAFLEX (Напольные покрытия)**  
Салон **ТЕКСТИЛЬ ДЛЯ ДОМА**

Н.О. КОПАНИЦА, канд. техн. наук, Д.В. ЛЫЧАГИН, д-р физ.-мат.наук,  
М.А. КАЛАШНИКОВА, магистр,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет

## Особенности регулирования эксплуатационных свойств эффективных торфодревесных материалов

При решении проблем энергосбережения в строительном комплексе необходимо уделять большее внимание комплексному и рациональному использованию местного сырья при изготовлении эффективных теплоизоляционных стеновых материалов.

Особенностью сырьевой базы Сибири является наличие значительного количества природного сырья и отходов производства, пригодных для изготовления эффективных материалов для ограждающих конструкций в малоэтажном строительстве. Таким сырьем, в частности, является торф и отходы деревообработки.

Широкие потенциальные возможности торфа для использования в различных областях обусловлены особенностями его состава и строения. Малоизученными являются возможности использования в строительстве низинных торфов, имеющих значительное содержание минеральных компонентов и высокую степень разложения. Низинные высокозольные торфы по сравнению с верховыми характеризуются меньшей влажностью, большей однородностью гранулометрического состава, значительно меньшей кислотностью, но кляющие свойства низинного торфа уступают верховому.

Низинный торф использовался в основном как наполнитель в композициях с минеральными или органическими вяжущими веществами (цемент, гипс, известь, битум, полимеры) [1]. Значительные запасы низинных торфов, наличие в его составе активных функциональных групп, обеспечивающих потенциальные возможности физико-химического модифицирования, позволяют отнести низинный торф к перспективным местным природным сырьевым материалам, пригодным для изготовления теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных изделий.

В НИИ СМ при ТГАСУ на протяжении ряда лет проводились исследования по созданию конкурентоспособного и эффективного материала для строительных целей на основе торфа. Исследования выявили способность формирования в низинном торфе-сырце, подвергнутом механохимической активации, структур твердения минеральной части торфа [2], что позволяет использовать его в качестве связующего компонента в композиционном материале. Роль каркасообразующего элемента в таких композициях выполняют продукты переработки древесины. Высокое сродство природы исходных компо-

нентов, низкая плотность позволили создать эффективный теплоизоляционный материал. Использование современных добавок-модификаторов обеспечивает стабилизацию и улучшение заданных параметров качества.

Физическую модель создаваемого материала можно представить как поризованный композит, в котором каркасообразующим элементом являются отходы лесопиления, а связующим — модифицированная торфяная суспензия. Хорошее сродство на контакте древесных опилок и торфяного связующего предопределяет благоприятные условия для объемного структурообразования отформованных изделий. Для регулирования и оптимизации структуры в состав базовой смеси вводили порообразующие добавки разного вида и количества. При этом значение коэффициента теплопроводности понизилось от 0,1 до 0,04 Вт/(м·К) [3].

Одним из существенных недостатков торфодревесных материалов является их низкая водостойкость — исследования по оценке влияния различных гидрофобизирующих добавок на капиллярное водопоглощение торфодревесных материалов представлены в [3]. При введении гидрофобизатора «Аквасил» на основе метилсиликоната калия значение водопоглощения по массе уменьшилось до 40%.

В результате проведенных исследований были получены материалы на основе различных модифицированных торфодревесных композиций (ТДК), характеристики которых представлены в табл. 1.

Представленные ранее результаты исследований показали возможность создания эффективного, экологически чистого теплоизоляционного материала для ограждающих конструкций зданий с повышенной теплозащитой на основе местного торфодревесного сырья.

Была поставлена задача на основе ТДК получить конструкционно-теплоизоляционный материал. Для этого решались следующие задачи:

- оценка возможности получения конструкционно-теплоизоляционных материалов на основе модифицированных торфодревесных композитов;
- установление закономерностей влияния на свойства торфодревесного материала полимерных армирующих добавок.

Для достижения поставленных задач был предложен способ модифицирования торфодревесного материала армирующими добавками, которые могли бы улучшить его прочностные характеристики и расширить номенклатуру выпускаемых изделий.

В качестве армирующих добавок в торфодревесных материалах применялись полипропиленовые волокна различных характеристик — экструдированные волокна разной длины, полученные по технологии, разработанной в ТГАСУ, и фибриллированные волокна, полученные по технологии, разработанной в ООО «ПКФ «ГБЦ» (Екатеринбург). В первом случае волокна представляют собой набор отдельных нитей, имеющих цилиндрическую фор-

Таблица 1

Вид торфодревесного композита (ТДК)	Физико-механические свойства				
	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа	$R_{изг}$ , МПа	Водопоглощение, мас. %
Базовый ТДК	0,1	350	0,58	0,35	150
Модифицированный ТДК	0,04	270	0,53	0,33	40

Таблица 2

Характеристика волокон		Способ получения волокон								
		Экструзивный							Фибриллированный	
Диаметр, мм		0,5				0,1–0,5				Толщина ~1 мм
Длина, мм		30	15	10	5	30	15	10	5	0,8–1,2
Показатель	Содержание волокон, %	Приведены средние значения для 5 образцов каждой серии*								
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	10	$\frac{337}{337}$	$\frac{339}{338}$	$\frac{344}{343}$	$\frac{346}{346}$	$\frac{356}{354}$	$\frac{357}{357}$	$\frac{359}{358}$	$\frac{362}{361}$	$\frac{327}{326}$
	7,5	$\frac{339}{338}$	$\frac{342}{342}$	$\frac{348}{346}$	$\frac{350}{350}$	$\frac{357}{355}$	$\frac{359}{358}$	$\frac{361}{361}$	$\frac{364}{364}$	$\frac{295}{294}$
	5	$\frac{340}{340}$	$\frac{343}{343}$	$\frac{352}{351}$	$\frac{357}{356}$	$\frac{359}{358}$	$\frac{362}{360}$	$\frac{362}{362}$	$\frac{365}{365}$	$\frac{345}{343}$
R <sub>сж</sub> , МПа	10	$\frac{2,7}{2,9}$	$\frac{2,7}{3}$	$\frac{2,9}{3,2}$	$\frac{2,9}{3}$	$\frac{3}{3,1}$	$\frac{3}{3,3}$	$\frac{3,1}{3,3}$	$\frac{3,2}{3,3}$	$\frac{3,7}{4,8}$
	7,5	$\frac{2,5}{2,7}$	$\frac{2,7}{2,9}$	$\frac{3,2}{3,3}$	$\frac{3}{3,1}$	$\frac{2,9}{3,1}$	$\frac{3,2}{3,4}$	$\frac{3,2}{3,5}$	$\frac{3,4}{3,5}$	$\frac{4,8}{7,5}$
	5	$\frac{2,6}{2,7}$	$\frac{2,6}{2,8}$	$\frac{2,9}{3,1}$	$\frac{2,9}{3}$	$\frac{2,8}{2,9}$	$\frac{2,9}{3,2}$	$\frac{3}{3,1}$	$\frac{3,1}{3,2}$	$\frac{3,9}{5,3}$
R <sub>изг</sub> , МПа	10	$\frac{1,5}{1,6}$	$\frac{1,7}{1,7}$	$\frac{1,8}{1,9}$	$\frac{1,9}{2}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,9}{2,2}$	$\frac{1,9}{2,1}$	$\frac{1,9}{2,2}$	$\frac{2,4}{3,5}$
	7,5	$\frac{1,6}{1,6}$	$\frac{1,4}{1,5}$	$\frac{1,8}{2}$	$\frac{1,8}{2,1}$	$\frac{1,7}{1,7}$	$\frac{1,9}{2,1}$	$\frac{2}{2,4}$	$\frac{2,2}{2,4}$	$\frac{3,9}{5,6}$
	5	$\frac{1,3}{1,4}$	$\frac{1,6}{1,6}$	$\frac{1,7}{1,8}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,1}{1,3}$	$\frac{2}{2,1}$	$\frac{2,2}{2,3}$	$\frac{2,4}{2,5}$	$\frac{3,1}{4,2}$

\* Над чертой – для температуры сушки образцов 85°C; под чертой – для 130°C.

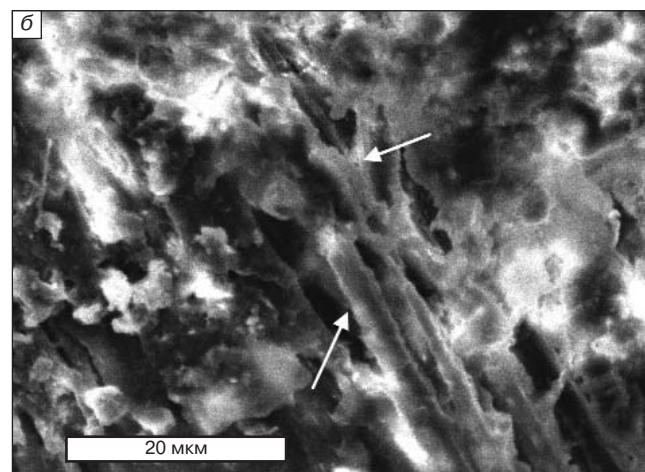
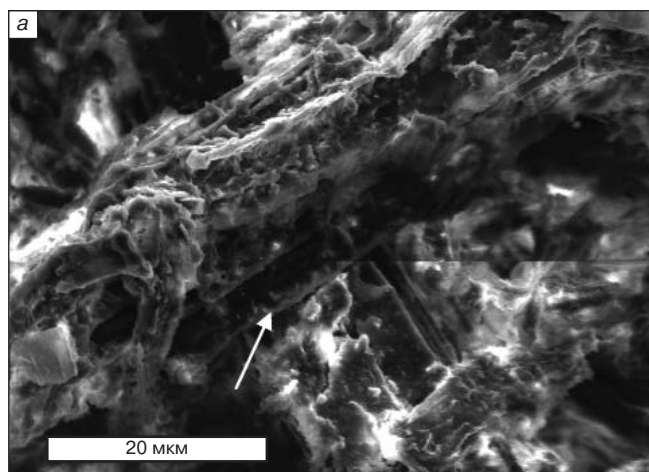
му и гладкую, однородную поверхность. Во втором случае волокна – это плоские, шероховатые по всей поверхности частицы, состоящие из отдельных микронитей, способных разделяться при механическом воздействии.

Авторами были проведены исследования влияния разного вида армирующих волокон, их геометрических размеров и содержания в торфодревесной смеси на свойства композиционного материала. Отформованные образцы подвергались тепловой обработке (сушке) при температуре 85 и 130°C. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что армирующее экструзивное волокно повышает прочностные характеристики материала по сравнению с базовыми значениями более чем в 4 раза, не оказывая существенного влияния на плот-

ность образцов. При этом чем тоньше и короче армирующие волокна, тем выше результаты.

Оптимальное количество армирующего экструзивного волокна диаметром 0,1–0,5 мм и длиной 5–10 мм составляет 5–7,5% от массы смеси. Использование фибриллированного волокна повышает прочность материала по сравнению с базовыми значениями более чем в 8 раз. Таким образом, очевидно, что на механические свойства торфодревесного материала значительное влияние оказывает способ получения самих волокон. При одном и том же процентном содержании прочность образцов с фибриллированным полипропиленовым волокном превосходит прочность образцов с волокнами, полученными экструзией, более чем на 30%.



Структура торфодревесного композита, армированного фибриллированным полипропиленовым волокном: а – тепловая обработка при температуре 85°C; б – тепловая обработка при температуре 130°C

Кроме того, прочность готового композита увеличивается при повышении температуры обработки до 130°C. Для оценки процессов, происходящих в торфодревесном композите при нагревании, проводились микроскопические исследования. С помощью электронного растрового микроскопа были получены микрофотографии (см. рисунок) структуры армированного фибриллированным полипропиленовым волокном торфяного связующего.

В материале после тепловой обработки при температуре 85°C волокно имеет четкие очертания и незначительную по размерам зону контакта с торфяным связующим. Материал после тепловой обработки при 130°C имеет более размытые границы отдельных волокон, наблюдается частичное «сращивание» волокон между собой и увеличение зоны контакта с торфяным связующим. Полученные данные позволяют объяснить увеличение прочности армированного торфодревесного материала под воздействием повышенной температуры обработки.

Влияние температуры на прочность готовых изделий на основе торфодревесных композиций, модифицированных армирующим волокном, можно объяснить также свойствами самих полимеров. Для аморфных полимеров (к ним относятся полипропиленовые волокна) в зависимости от температуры характерны три различных физических состояния: *стеклообразное, высокоэластичное и вязкотекучее* [4]. Первые два относятся к твердому агрегатному состоянию, последнее — к жидкому. Высокоэластичное состояние является специфичным для полимеров. Результаты исследования температуры перехода в высокоэластичное состояние полипропиленовых волокон, полученных путем фибрилляции, показали, что это явление начинает проявляться при температуре 125–130°C. Кратковременный нагрев отформованных

образцов до такой температуры в процессе тепловой обработки оказывает существенное влияние на поведение полипропиленового волокна, вызывая переход его в высокоэластичное состояние, чем вызывается эффект «сцепки» между окончаниями отдельных частичек волокон, а при нормальной температуре обеспечивает более жесткий спаянный пространственный каркас.

Таким образом, используя различные способы модифицирования торфодревесных композиций, можно получать изделия с различными физико-механическими характеристиками — от теплоизоляционных до конструкционно-теплоизоляционных.

Разработанная технологическая линия производства эффективных торфодревесных материалов отличается простотой технологических переделов и монтажа, малой ресурсо- и энергоемкостью, обеспечивает получение изделий практически любой формы и размера.

#### Список литературы

1. *Тарновский А.И. и др.* Производство термоизоляционных изделий из торфа в Белорусской ССР // Торфяная промышленность. 1964. № 8. С. 1–5.
2. *Кудьяков А.И., Копаница Н.О., Завьялов И.И.* Формирование прочности активированного торфяного вяжущего в торфодревесных композитах // Известия вузов. Строительство и архитектура. 2001. № 7. С. 43–46.
3. *Кудьяков А.И., Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Рыжиков А.Б.* Эффективные строительные материалы на основе модифицированных торфов // Строит. материалы. 2002. № 7. С. 12–14.
4. *Белозеров Б.П., Гузев В.В., Перепелкин К.Е.* Свойства, технология переработки и применение пластических масс и композиционных материалов. Издательство научно-технической литературы. Томск. 2004. С. 221.

Российская академия наук  
Уральское отделение  
Правительство Республики Коми  
III Международная конференция

#### ПРОБЛЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ БАРЕНЦЕВА РЕГИОНА В ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

25 – 27 сентября 2007 г.

г. Сыктывкар

#### Тематика конференции:

- ♦ минерально-сырьевые ресурсы Баренцева региона и сопредельных территорий, проблемы рационального природопользования, комплексное использование природных и техногенных минеральных ресурсов;
- ♦ проблемы переработки природного и техногенного минерального сырья, получение эффективных строительных и технических материалов;
- ♦ современные проблемы строительного материаловедения и технологии строительных материалов;
- ♦ экономика строительной индустрии, проблемы развития промышленности строительных материалов;
- ♦ экологические проблемы недропользования и переработки минеральных ресурсов.

Официальные языки конференции – русский и английский

#### Основные даты:

- до 15 мая 2007 г. – представление заявок на участие в конференции;
- до 1 августа 2007 г. – прием тезисов докладов;
- до 1 сентября 2007 г. – рассылка программы конференции.

Оргкомитет: тел.: (8212) 44-65-34, 20-39-43 (секретариат конференции);  
Факс: (8212) 24-09-70, 24-53-46 E-mail: minraw@geo.komisc.ru  
*Амосова Ольга Евгеньевна, Митюшова Татьяна Павловна*

Почтовый адрес: Россия, 167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54,  
Институт геологии Коми НЦ УрО РАН

Приднепровская государственная  
академия строительства  
и архитектуры

#### III-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

#### ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

г. Севастополь  
12–14 сентября 2007 г.

Секретарь оргкомитета:  
*Мартыненко В.А.,*  
зав. лабораторией ячеистых бетонов

ПГАСА, Украина, 49600, ул. Чернышевского,  
24-а, Днепропетровск, ГСП-600, к. 255  
Тел./факс: (+38 0562) 47-16-44  
E-mail: labconcrete@mail.pgasa.dp.ua;  
http: www.pgasa.dp.ua/labconcrete

## **Требования к материалам, направляемым в группу журналов «Строительные материалы»® для опубликования**

В группе журналов «Строительные материалы»® публикуются оригинальные статьи, нигде ранее не опубликованные и не предназначенные для одновременной публикации в других изданиях.

Научные статьи рецензируются специалистами.

*Библиографические списки* цитируемой, использованной литературы должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003. Цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания. Порядковый номер в тексте заключается в квадратные скобки.

В начале статьи указывается УДК.

Статьи, направляемые в редакцию группы журналов «Строительные материалы»® для опубликования, должны оформляться в соответствии с *техническими требованиями*:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word (рекомендуемый объем 10 страниц машинописного текста или 10 тыс. знаков, включая таблицы и рисунки; размер шрифта 14, печать через 1,5 интервала, поля 3–4 см) и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf;
- **единицы физических величин должны быть приведены в Международной системе единиц (СИ);**
- **для названий химических соединений необходимо придерживаться терминологии, рекомендуемой ИЮПАК;**
- графические материалы (*графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.*) должны быть представлены **отдельными файлами** в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps, выполненные в графических редакторах: CorelDraw и Adobe Illustrator. При изготовлении чертежей в системах автоматического проектирования

(AutoCAD, Visuo и др.) необходимо экспортировать чертежи в формат \*.eps. **Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо. Диаграммы, выполненные в Microsoft Excel, не принимаются.**

- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, либо в электронном виде – **отдельными файлами** в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps (Adobe PhotoShop) с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

*Весь материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться:*

- рекомендательным письмом руководителя предприятия (института) с указанием, является ли работа диссертационной;
- распечаткой, лично подписанной авторами;
- рефератом на русском и английском языках;
- подтверждением, что статья предназначена для публикации в группе журналов «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 и ученого звания (звания в негосударственных академиях наук не указывать), должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов.

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте группы журналов [www.rifsm.ru/avtoram.php](http://www.rifsm.ru/avtoram.php).

## **Как оформить подписку на журнал «Строительные материалы»®**

### **На почте:**

**Индексы 70886, 87723 – по объединенному каталогу «Пресса России»  
79809, 36108, 20461, 36109 – по каталогу агентства «Роспечать»  
61970 – по каталогу «Издания органов научно-технической информации»**

### **В редакции:**

**Заявки на подписку принимаются по факсу (495) 124-32-96, 124-09-00 или по электронной почте [mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru)**

### **Через Интернет:**

**На сайте журнала «Строительные материалы»® [www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru) разделе «Подписка» ([www.rifsm.ru/podpiska.php](http://www.rifsm.ru/podpiska.php))**

### **Альтернативная подписка:**

«Агентство Артос-Гал»	(495) 160 58 47	«Экс-Пресс»	(495) 234 23 80
	504 13 45	«Урал-Пресс»	(495) 257 86 36
«Вся пресса»	(495) 787 34 47		(343) 375 80 71
«Информ Наука»	(495) 787 38 73	«Агентство «Коммерсант-Курьер»	(495) 614 25 05
«Интер-почта»	(495) 500 00 60		(843) 291 09 82
«Красносельское агентство «Союзпечать»	(495) 707 12 88	РУП «Белпочта», Минск, Беларусь	(375-17) 227 20 31
	707 16 58		