

## 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.  
ГОНЧАРОВ Ю.А.  
ГОРИН В.М.  
ГОРНОСТАЕВ А.В.  
ГРИДЧИН А.М.  
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  
возможны лишь с письменного  
разрешения главного редактора

Редакция не несет ответственности  
за содержание рекламы и объявлений

### Адрес редакции:

Россия, 127434, Москва,  
Дмитровское ш., д. 9, корп. 3  
Тел./факс: (495) 976-22-08  
(495) 976-20-36  
Телефон: (926) 833-48-13  
E-mail: mail@rifsm.ru  
http://www.rifsm.ru

### Современные бетоны: наука и практика

В.И. КАЛАШНИКОВ

#### Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов ..... 4

Для расчета состава высокопрочных самоуплотняющихся бетонов с суперпластификаторами и дисперсными реакционно-активными наполнителями предложены критерии избытка реологических водно-дисперсных матриц над абсолютными объемами песка и щебня.

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

#### Особенности структурообразования цементного камня на поздних стадиях твердения ..... 7

Приведены существующие представления и модель механизма твердения цементного камня, дано сопоставление данных, полученных теоретическим расчетом с большим экспериментальным массивом данных.

П.Г. КОМОХОВ, А.М. ХАРИТОНОВ

#### Вероятностный аспект численного моделирования цементных систем ..... 11

Предложенный метод базируется на цифровой вероятностно-геометрической модели структуры. Оценены величины влажностной усадки цементно-песчаных композиций, полученные на основе предложенной методики моделирования.

#### Современные бетоны (К юбилейной конференции в Крыму) ..... 13

В.И. ЛОГАНИНА, Г.А. ФОКИН, Н.Г. ВИЛКОВА, Я.А. КАРАСЕВА

#### Повышение активности воды затворения цементных систем акустическим полем ..... 14

Изучено влияние среднечастотных акустических колебаний на свойства воды затворения цементных систем. Представлены зависимости изменения pH воды и ее температуры от времени обработки акустическим полем.

А.В. ХВАСТУНОВ

#### Повышение эксплуатационных свойств бетонных плит различного назначения ..... 17

Изучены физико-механические свойства дисперсно-армированного тяжелого и легкого бетона, которые подтверждают высокую эффективность его применения, в том числе в плитах, работающих на продавливание, и в плитах дорожных покрытий.

Т.В. ЩУКИНА

#### Повышение энергоактивности гелиотермообработки строительных изделий ... 20

Рассматривается возможность проведения гелиотермообработки строительных изделий в климатических условиях средней полосы России и более северных широт. Рекомендованы способы повышения эффективности солнечных коллекторов. На основе решения уравнения нестационарной теплопроводности для массива, подвергаемого гелиотермообработке, получены зависимости температурных режимов от времени.

Е.Н. СКУРАТЕНКО

#### Технология отделки железобетонных декоративных экранов наружных стен ... 24

Предложена промышленная технология отделки декоративных железобетонных экранов наружных стен самоуплотняющимися высокоподвижными бетонными смесями. Для защиты отделочного слоя от проникновения щебня из бетонной смеси основного слоя применена стеклопластиковая сетка с размерами ячейки 5x5 мм.

С.В. ПЛЫШЕВСКИЙ, М.И. КУЗЬМЕНКОВ, Е.В. МАРЧИК

#### Растворы на магниезиальном вяжущем для облицовочных работ в зимних условиях ..... 29

Изучена кинетика твердения растворов на магниезиальном вяжущем, полученном из каустического доломита, при различной температуре. Показано, что они способны отвергаться при отрицательной температуре. Растворы имеют высокие показатели адгезии, водостойкости и морозостойкости.

Н.С. ШЕЛИХОВ, Р.З. РАХИМОВ, В.П. МОРОЗОВ

#### Особенности формирования активной фазы MgO в доломитовом цементе ... 32

Показано, что активная фаза доломитового цемента представлена MgO повышенной дисперсности, имеет повышенную поверхностную энергию и реакционную способность. Как вяжущий материал доломитовый цемент в пересчете на содержание активной фазы эффективнее каустического магнезита.

В.А. ГРИШИНА, В.Ф. ХРИТАНКОВ, А.П. ПИЧУГИН

**Использование комплексных добавок для укрепления грунтов в сельском дорожном строительстве** ..... 36  
Рассмотрена возможность применения золошлаковых отходов ТЭС, отходов асбестоцементного производства и омыленного таллового пека для укрепления грунтов в дорожном строительстве. Опробованы рецептуры грунтобетона с комплексными добавками и заложены производственные участки дорожного полотна, подтверждена эффективность использования выбранных добавок.

В.А. КУЗУРМАН, И.В. ЗАДОРЖНЫЙ, В.Ю. ЧУХЛАНОВ

**Жаростойкие материалы на основе синтактных пенопластов с использованием отходов промышленных производств** ..... 40  
Широкому применению пенокерамических материалов препятствует высокая стоимость углеродных микросфер. В качестве замены карбидообразующим материалам и порообразователю исследованы материалы, в состав которых введен лейкоксеновый концентрат. Приведены физико-механические характеристики полученного материала.

## Технологии и оборудование

С.Ф. СМЕРНОВ, В.П. ЖУКОВ, С.В. ФЕДОСОВ, D. URBANIAK, T. WYLECIAL

**Влияние материальной загрузки на измельчение в струйной мельнице кипящего слоя** ..... 44  
Проведены экспериментальные исследования влияния материальной загрузки на процесс измельчения в струйных мельницах кипящего слоя, предложена математическая модель измельчения, проведено сопоставление расчетных и экспериментальных результатов.

А.Б. ЛОСКУТОВ

**Виброактиваторы бункерные для разгрузки трудноразсыпучих материалов** ..... 48  
При выгрузке трудноразсыпучих материалов из бункеров-накопителей возникает ряд проблем, связанных с зависанием продукта, сводообразованием, сегрегацией, решить которые могут системы виброактиваторной разгрузки бункеров. Приведена схема работы виброактиваторов ИВ и их основные технические характеристики.

## К 75-летию факультета ХТС – ИВМТ РХТУ им. Д.И. Менделеева

**Факультету химической технологии силикатов – Институту высокотемпературных материалов и технологий РХТУ им. Д. И. Менделеева – 75 лет** ..... 50

Н.Т. АНДРИАНОВ, М.С. ТИМОФЕЕВА, П.К. ГУРЕВИЧЕВ, В.Ф. БОГАЧЕВА

**Повышение технических характеристик напольных плиток** ..... 54  
Показана возможность снижения температуры обжига керамической плитки для полов на 40–50°C за счет измельчения компонентов керамической массы до размеров зерен менее 40 мкм или за счет введения в состав массы талька (5%). При этом достигается повышение механической прочности и уменьшение водопоглощения изделий.

И.Н. ТИХОМИРОВА, Т.В. СКОРИНА

**Теплоизоляционные материалы на основе кремнеземсодержащего сырья** ..... 58  
Предложена технология получения материалов на основе вспененного жидкого стекла, отвердителя и легкого минерального силикатного заполнителя, которая позволяет изготавливать эффективные теплоизоляционные и теплоизоляционно-конструкционные изделия.

Т.В. КУЗНЕЦОВА, Ю.Р. КРИВОБОРОДОВ, И.Ю. БУРЛОВ

**Основные направления в химии и технологии специальных цементов** ..... 61  
Подробно рассмотрены свойства глиноземистого цемента, быстротвердеющего, быстротвердеющего и расширяющегося цементов. Даны подробные рекомендации по их применению и эксплуатации.

Ю.Р. КРИВОБОРОДОВ, С.В. САМЧЕНКО

**Влияние агрегатного состояния промежуточной фазы клинкера на свойства цементов** ..... 64  
Рассматривается влияние режима охлаждения клинкера на минералогический и фазовый состав. Показано, что в зависимости от аморфного или кристаллического состояния алюминатов и алюмоферритов кальция изменяются такие свойства клинкеров, как размалываемость и гидравлическая активность.

## Юбилеры отрасли

**Святослав Васильевич Поляков (1918–1992)** ..... 68

## Материалы и конструкции

Л.А. ГУЛАБЯНЦ, А.А. ЦАПАЛОВ

**Радонопроницаемость рулонного материала Техноэласт** ..... 69  
Описаны установка и метод расчета ожидаемой концентрации радона в помещениях проектируемых зданий. На примере применения материала Техноэласт показана эффективность выполнения защиты помещений от радона.

С.В. КОРНИЕНКО

**Тестирование метода решения трехмерной задачи совместного тепло- и влагопереноса** ..... 72  
Приводятся результаты тестирования метода решения трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий на аналитическом решении, последовательности пространственных и временных сеток, экспериментальных данных. Показана удовлетворительная сходимость экспериментальных и расчетных данных.

**WACKER открывает новые возможности в России (информация)** ..... 74

А.А. ОТСТАВНОВ, В.А. УСТЮГОВ, К.Е. ХРЕНОВ, В.А. ХАРЬКИН

**Некоторые особенности реализации Жилищной программы России** ..... 76  
Подробно проанализировано состояние с выпуском труб – полимерных и на основе модифицированного чугуна. Показаны недостатки имеющейся нормативно-технической документации, пути дальнейшего расширения номенклатуры и объемов выпуска таких труб.

**Новости** ..... 82

**Специализированный  
редакционный совет**

**«Строительные  
материалы:  
архитектура»**

**ХИХЛУХА Л.В.**

**академик РААСН  
(председатель)**

**ЕСАУЛОВ Г.В.**

**член-корреспондент  
РААСН**

**(зам. председателя)**

**БАЙЕР В.Е.**

**БАРИНОВА Л.С.**

**ГОРНОСТАЕВ А.В.**

**ФИЛИППОВ Е.В.**

**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, 127434, Москва,  
Дмитровское ш.,  
д. 9, корп. 3

Тел./факс: (495) 976-22-08

(495) 976-20-36

Телефон: (926) 833-48-13

E-mail: mail@rifsm.ru

http://www.rifsm.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

М.К. ИЩУК

### История выпуска пустотелых керамических камней в России ..... 87

Показано, что пустотелые керамические элементы обнаружены в кладке наружных стен при реконструкции Большого Кремлевского дворца, построенного в середине XIX в. В конце XIX – начале XX в. кладка из пустотелого керамического кирпича получила достаточно широкое распространение в южных и западных губерниях России. Наиболее полные исследования прочности и деформации кладки из пустотелого керамического камня были выполнены в США. В СССР первые технические условия на такие изделия были утверждены в 1945 г. В основном работу по разработке конструкций пустотелых керамических стеновых изделий, изучению прочностных и теплотехнических характеристик кладки из них вел ЦНИПС (ныне ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко). Показана эволюция размеров и формы пустот пустотелых керамических камней, приведены данные о производителях, а также марках и свойствах современных изделий.

Н.И. МИНЬКО, А.Б. АТКАРСКАЯ, С.А. КЕМЕНОВ

### Использование стекла и изделий из него в современном строительстве ..... 91

В работе описаны новые и улучшенные виды стекла и изделий из него, которые находят широкое применение в отечественной и зарубежной архитектуре и строительстве. Приведены основные технические характеристики флоат-стекла и представлены российские и зарубежные производители этого материала. В таблицу объединены сведения об основных видах обычных и специальных видах стекол, поставляемых в Россию зарубежными компаниями. Даны сведения о стекле, широко применяемом в настоящее время в строительстве: окрашенном в массе листовом стекле, плоском стекле с негладкой поверхностью, безопасном стекле (термоупрочненном, закаленном, многослойном, шумоизолирующем, огнестойком и др.), энергосберегающем стекле и его видах. Кратко описаны технологии их производства и возможности применения. Особое внимание уделено технологии производства энергосберегающих стекол. Как отдельный класс для устройства стеклянных фасадов представлены самоочищающиеся стекла. Также дано краткое описание прочей стеклопродукции, используемой в строительстве (стеклоблоки, стекловолокно и изделия из него).

### Энергоэффективные оконные системы EXPROF ..... 96

Представлены разработки компании «ЭксПроф» – оконные системы EXPROF. Описаны свойства конструкций, области их применения.

### Утепление в стиле ТЕХНО ..... 98

Представлены способы устройства кровельного ковра материалами, разработанными и производимыми Корпорацией «ТехноНИКОЛЬ». Описаны основные свойства материалов марки ТЕХНО, используемых для утепления плоских крыш.

### Цветок пустыни – «Бурж Дубай»: завершается строительство самого высокого здания в мире ..... 100

Приведена информация о строительстве самого высокого в мире здания – башни Бурж Дубай в ОАЭ. Описана концепция архитектурного проекта и конструктивная система. Особое внимание уделено расчету и проектированию строительных конструкций, а также проектированию бетона. Кратко представлен порядок выполнения строительных работ. Авторы проекта Эдриан Смит, Уильям Ф. Бейкер, Д. Стэнтон Корист, Лоуренс С. Новак гармонично вписали почти километровую башню в окружающий ландшафт, использовали элементы восточной архитектуры и нашли уникальные технические решения, обеспечивающие дальнейший «рост» башни, энергоэффективность и высокую надежность. Статья подготовлена на основе докладов авторов, сделанных на VIII Международном конгрессе Совета по высотным зданиям и городской среде (CTBUH).

Подписка на журнал «Строительные материалы»  
с приложением «Строительные материалы: архитектура»  
осуществляется по индексам:

**87723** каталог  
«Пресса России»

**20461** каталог  
агентства «Роспечать»

**Не забудьте оформить подписку своевременно!**

## Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов

Получение самоуплотняющихся высокопрочных бетонов с суперпластификаторами (СП) связано с преодолением трех противоречивых факторов – обеспечением высокой текучести бетонной смеси, исключением расслаиваемости ее и достижением высокой прочности бетона до 100–150 МПа и более.

Оптимальная реология самоуплотняющихся бетонных смесей должна обеспечивать расплыв обратного конуса не менее 55–60 см. Однако часто в рекламных проспектах и научных статьях самоуплотняющиеся бетоны характеризуют осадкой конуса смеси 20–22 см. Оценим теоретически величину расплыва конуса бетонной смеси при различной осадке конуса, превышающей 20 см. Расчет расплыва конуса по его осадке осуществим из объема сферического сегмента  $V$ , формируемого растекающейся бетонной смесью с малым пределом текучести под действием собственного веса. Выражение для объема сферического сегмента выразим через исходную высоту обычного стандартного конуса  $H$ , осадку конуса  $OK$  и расплыв конуса  $D$  бетонной смеси:

$$V = \frac{\pi(H-OK)}{6} [3(D/2)^2 + (H-OK)^2] = \frac{\pi(H-OK)}{6} [3R^2 + (H-OK)^2], \quad (1)$$

где  $R$  – радиус расплыва конуса бетонной смеси.

Из выражения (1) найдем диаметр расплыва конуса:

$$D = \sqrt{\frac{24 \cdot V - 4\pi \cdot (H-OK)^3}{3 \cdot \pi \cdot (H-OK)}}. \quad (2)$$

При геометрических размерах обычного стандартного конуса  $H = 30$  см,  $D_n = 20$  см;  $d_b = 10$  см и объеме конуса  $5495$  см<sup>3</sup> выражение (2) упрощается:

$$D = \sqrt{\frac{131880 - 12,56 \cdot (30-OK)^2}{9,42 \cdot (30-OK)}}. \quad (3)$$

Получены расчетные значения расплыва конуса бетонных смесей при их различных осадках (см. таблицу).

Как следует из таблицы, подвижные бетонные смеси с  $OK = 20-24$  см не являются самоуплотняющимися, способными растекаться без вибропобуждения. Истинно саморастекающимися смесями являются смеси с осадкой конуса 26–28 см. Для таких смесей непригоден щебень фракции 20–40 мм. Наилучшие результаты по реологии обеспечивает щебень фракции от 3–10 до 3–16 мм.

Как указано в [1], в Евростандарте EN 206-1 предусмотрено 6 классов подвижных смесей с диаметром расплыва конуса бетонных смесей от 340 до 630 мм и более.

В правилах EG SCC (Self compacting concrete) для самоуплотняющихся бетонов предусматривается 3 класса SCC по текучести с разными диаметрами расплыва [1]: SF-1 (550–650 мм); SF-2 (660–750 мм) и SF-3 (760–850 мм). Если следовать приведенному ранее расчету, то осадка стандартного конуса должна быть ориентировочно в пределах 25,5–28 см. По существу, максимальная осадка смеси  $OK = 28$  см ограничивается наибольшими размерами зерен щебня и возможна, как показывают эксперименты, при использовании щебня фракции 3–8 мм.

Высокая текучесть бетонной смеси требует создания не только специфической структуры смеси, но и особой топологии. Традиционная структура бетонной смеси предполагает компактную, наиболее плотную упаковку зерен щебня нескольких фракций. Для этого требуется заполнить вмещающие пустоты в крупной фракции щебня средними зернами второй фракции, а во вмещающие пустоты, образованные совокупностью зерен двух фракций, разместить зерна мелкой фракции щебня (принцип непрерывной гранулометрии). Те же принципы заложены в гранулометрию песка для тяжелых бетонов.

С позиций реологии такие плотноупакованные зернистыми заполнителями смеси имеют высокое трение при течении в стесненных условиях и не превращаются при наличии минимума воды в гравитационно-растекающиеся системы. Реологической матрицей для них, обеспечивающей свойства упруговязкого пластического тела, является цементное тесто, увеличение доли которого для обеспечения текучести связано с повышением расхода цемента и ухудшением экономики производства бетона.

Использование эффективных пластификаторов и гиперпластификаторов (ГП) позволяет увеличить текучесть цементного теста, снизить расход воды и повысить прочность бетона на малопластичных бетонных смесях с 50 до 70–90 МПа. При получении самоуплотняющихся бетонных смесей из-за недостатка количества реологической матрицы цементного теста прочность бетона понижается вследствие необходимости восполнения объема реологической матрицы водой.

Добавление микрокремнезема (МК) и зол ТЭС с высокой пуццоланической активностью в количестве 10–15% позволяет несколько увеличить объем реологической матрицы, с равнообъемным уменьшением количества зернистых и кусковых заполнителей, что улучшает перемещение их при течении. Прочность при этом повышается не столько за счет повышения водоредуцирующего эффекта, сколько вследствие образования дополнительного количества цементирующих гидросиликатов. Комбинация СП и микрокремнезема позволяет получать из пластичных смесей бетоны прочностью

Показатели	Расплыв конуса, см, при осадке конуса, см							
	20	23	24	25	26	26,5	27	28
Расплыв	35,6	44	47,8	52,6	59	63	68,2	83,6

90–110 МПа при расходе цемента 450–500 кг и микрокремнезема 30–60 кг.

Рациональная реология самоуплотняющихся бетонных смесей высокой текучести и высокая прочность бетонов марок 1000–2000 обеспечивается не только добавками к цементу микрокремнезема, но и добавлением 50–70% каменной муки.

При этом не всякие горные породы в виде каменной муки способны обеспечивать более высокую текучесть в суспензии с СП, чем цементные суспензии. Для оценки такой способности можно ввести термин «реологически активная каменная мука в суспензии с суперпластификатором». Оценка реологической активности муки осуществляется по водоредуцирующему действию СП. Водоредуцирующее действие (водоредуцирующий индекс  $V_n$ ) определяется по формуле:

$$V_n = V_n/V_n, \quad (4)$$

где  $V_n$  – водосодержание непластифицированной суспензии для обеспечения заданного расплыва ее из стандартного конуса (цилиндра);  $V_n$  – водосодержание пластифицированной суспензии при том же расплыве суспензии из того же прибора.

В качестве стандартного конуса истечения принят конус от встряхивающего столика по ГОСТ 310.4–76 «Цементы. Методы испытаний». Использование стандартного конуса в отличие от мини-конуса НИИЖБ и др. приспособлений более целесообразно в связи с тем, что аналогичный конус используется в Евростандарте EN 196 под названием «конус Хагерманна».

Основные 22 принципа получения высокопрочных самоуплотняющихся бетонов с СП, микрокремнеземами и каменной мукой были сформулированы ранее [2]. Приведем лишь четыре основные особенности, касающиеся структуры самоуплотняющихся бетонных смесей:

- смеси должны быть малощебеночными и малопесчаными, что требует увеличения в их объеме содержания водно-дисперсной матрицы;
- в матрице должны практически отсутствовать капиллярные и воздушные поры, вследствие чего она становится очень плотной и прочной;
- в структуре цементной дисперсной матрицы должны обязательно содержаться микрочастицы дисперсной горной породы, и поэтому не только высокопрочные реакционно-порошковые, но и щебеночные бетоны будущего должны выпускаться с каменной мукой из беспористых и прочных горных пород; такие бетоны будут бетонами нового поколения;
- в структуре цементной матрицы должны обязательно содержаться наночастицы (верхний масштабный наноуровень) плотных пуццоланических веществ, быстро связывающих гидрозольную известь портландцемента в тоберморит  $C_5S_6H_5$  или, в идеальном случае, более прочный ксенолит  $C_4S_5H_4$ .

В этой связи высокопрочные бетоны должны быть обязательно многокомпонентными, минимально 7-компонентными, что позволяет реализовать в них научные положения реологии многокомпонентных дисперсных систем, более полно связанные с физико-химическими, электрокинетическими явлениями, поверхностными зарядами частиц различного минералогического состава и с перезарядкой поверхности кислых пород под действием гидрозольной извести клинкера, с химией твердения цемента и механизмами гидратации его со структурно-механическими переходами агрегативно-устойчивых пластифицированных дисперсных систем при дефиците жидкости, со скоростью восстановления структуры дисперсных систем и наличием после тиксотропного ресурса течения (ТРТ) у пластифицированных систем. Многие из этих положений были рассмотрены ранее в многочисленных публикациях [2], систе-

матизированы в [3, 5] и реализованы в последние годы в зарубежной и отечественной практике.

Таким образом, технология производства высокопрочных дисперсно-армированных бетонов нового поколения с супер- и гиперпластификаторами, каменной мукой и плотными пуццоламами является более наукоемкой, нежели традиционная. Все эти улучшения, которыми пестрят многие научные статьи, не касаются реализации гиперэкономики строительства из железобетона. А она заключается именно в реализации строительства из высокопрочного бетона при уменьшении объемов его в конструкциях и конструктивных элементах в 3–6 раз. Вместе с этим в то же число раз уменьшаются расходы компонентов бетона, транспортные перевозки и значительно снижается масса зданий и сооружений. В связи с этим необходимы методы проектирования составов высокопрочных и особо высокопрочных бетонов нового поколения.

В настоящее время отсутствуют методы расчета состава самоуплотняющихся бетонов нового поколения, кроме рекомендаций по рецептуре обычных самоуплотняющихся бетонов, предложенных профессором Окмурой: насыпной объем заполнителя крупной фракции должен быть не более 50% объема бетона; объемная часть песка в растворе должна составлять 40%.

При этом остается незыблемым принцип равенства суммы абсолютных объемов бетонной смеси 1000 литрам.

Однако для самоуплотняющихся бетонных смесей с каменной мукой и пуццоланическими добавками, из которых изготавливаются высокопрочные (ВП) и особо высокопрочные (ОВПБ) бетоны классов В100–В120, эти рекомендации не могут быть использованы в полной мере.

На основе анализа состава и структуры лучших высокопрочных бетонов были предложены критерий избытка  $I_{щд}^п$  абсолютного объема цементно-дисперсной матрицы над объемом песка и критерий избытка  $I_{щдп}^щ$  абсолютного объема цементно-дисперсно-песчаной реологической матрицы над абсолютным объемом щебня [1]:

$$I_{щд}^п = \frac{V_{щд}^п}{V_n} = \frac{V_{ц} + V_{км} + V_{мк} + V_{в}}{V_n}; \quad (5)$$

$$I_{щдп}^щ = \frac{V_{щдп}^щ}{V_{щ}} = \frac{V_{ц} + V_{км} + V_{мк} + V_n + V_{в}}{V_{щ}}, \quad (6)$$

где  $V_{ц}$ ,  $V_{км}$ ,  $V_{мк}$ ,  $V_n$ ,  $V_{щ}$ ,  $V_{в}$  – абсолютные объемы соответственно цемента, каменной муки, микрокремнезема, песка, щебня и воды.

Значения этих критериев [5] существенно меняются при переходе от обычных бетонов к высокопрочным и особо высокопрочным: для умеренно-пластичных смесей  $I_{щд}^п = 1–1,2$ ;  $I_{щдп}^щ = 1,1–1,5$ ; для самоуплотняющихся бетонных смесей бетонов классов В50–В60 –  $I_{щд}^п = 1,6–2$ ;  $I_{щдп}^щ = 1,8–2$ ; для самоуплотняющихся дисперсно-армированных бетонов для изготовления ВПБ и ОВПБ –  $I_{щд}^п = 3–3,5$ ;  $I_{щдп}^щ = 2,2–2,5$ . В отдельных высокопрочных бетонах значения этих критериев могут быть еще больше:  $I_{щд}^п = 3,5–4$ ;  $I_{щдп}^щ$  – более 3.

Имеются данные об изготовлении самоуплотняющегося бетона марки М600, в котором используется до 100 кг смеси каменной муки и микрокремнезема с осадкой конуса смеси 20–22 см. Экспериментальные исследования показали, что такие бетоны не могут быть названы самоуплотняющимися, если следовать правилам EG SCC, поскольку их расплыв не превышает 40 см. Такие бетонные смеси требуют для уплотнения вибропобуждения. Без вибропобуждения невозможно самопроизвольное удаление пузырьков вовлеченного воздуха.

В последние годы в рекламных проспектах появилось большое количество фальсификаций относительно

сверхэффективного действия СП, способных превращать обычные плотноупакованные бетонные смеси с малыми расходами цемента в саморастекающиеся (и даже самоуплотняющиеся). Нереальные свойства бетонных смесей и бетонов рекламируются в ряде научных статей. Так, в статье [6] приводятся данные об эффективности действия добавки МБ-01. Тощая бетонная смесь с расходом цемента  $300 \text{ кг/м}^3$  при добавлении МБ-01 в количестве 45 кг превратилась в высокопродвижную с осадкой конуса  $OK = 20-22 \text{ см}$  при расходе воды всего 135 л! Содержание щебня и песка не указано, но их общее количество легко установить, считая, что масса сухих компонентов не может быть менее  $2250-2300 \text{ кг/м}^3$  при расходе воды 150 л. Тогда содержание песка и щебня в сумме составит:  $[2250 - (300 + 45) = 1905 \text{ кг}]$ . Если принять в смеси заполнителей содержание песка  $650 \text{ кг/м}^3$ , то содержание щебня будет  $1355 \text{ кг}$  ( $1905 - 650 = 1355 \text{ кг}$ ). При объеме реологической матрицы 250 л ( $300/3,1 + 45/2,3 + 135 = 250 \text{ л}$ ) реологический критерий  $I_{\text{цдп}}^{\text{III}}$  будет равен 1,02, а критерий  $I_{\text{цдп}}^{\text{II}} = 0,99$ . За счет чего течет такая предельно наполненная песком и щебнем бетонная смесь? Расчеты показывают, что цементно-песчаного раствора не хватает для заполнения пустот в щебне, не говоря о какой-либо раздвижке зерен. Самое удивительное то, что прочность такого тощего бетона составляет 65 МПа! Дайте такую высокоподвижную бетонную смесь с расходом цемента  $350 \text{ кг/м}^3$  монолитному строительству с прочностью бетона 60–65 МПа, и экономика его существенно повысится.

Именно предлагаемые структурно-топологические критерии жидкотекучих бетонных смесей позволяют выявить такие нереальные составы высокоподвижных смесей.

Используем разработанные критерии для расчета состава бетона.

Поскольку абсолютная плотность кварцевого песка в земной коре мало различается и равна  $2600-2700 \text{ кг/м}^3$ , а плотность щебня варьирует от 2600 до  $3100 \text{ кг/м}^3$ , для расчета состава бетона целесообразно использовать критерий  $I_{\text{цдп}}^{\text{III}}$ .

Примем объем бетонной смеси равным  $V_{\text{бс}}$  и вычислим объем щебня:

$$V_{\text{щ}} = V_{\text{бс}} - (V_{\text{ц}} + V_{\text{км}} + V_{\text{мк}} + V_{\text{п}} + B). \quad (7)$$

Подставим выражение (7) в (6) и получим:

$$V_{\text{п}} = \frac{I_{\text{цдп}}^{\text{III}} \cdot V_{\text{бс}} - (I_{\text{цдп}}^{\text{III}} + 1) (V_{\text{ц}} + V_{\text{км}} + V_{\text{мк}} + B)}{I_{\text{цдп}}^{\text{III}} + 1}. \quad (8)$$

Если вместо объема щебня из (7) определить объем песка и подставить его в выражение (6), то получим:

$$V_{\text{щ}} = \frac{I_{\text{цд}}^{\text{II}} \cdot V_{\text{бс}} - (I_{\text{цд}}^{\text{II}} + 1) (V_{\text{ц}} + V_{\text{км}} + V_{\text{мк}} + B)}{I_{\text{цд}}^{\text{II}}}. \quad (9)$$

В связи с тем, что состав бетона задается, как правило, массовый, формулы с учетом плотности компонентов принимают следующий вид:

$$V_{\text{п}} = \frac{I_{\text{цдп}}^{\text{III}} \cdot V_{\text{бс}} - (I_{\text{цдп}}^{\text{III}} + 1) (\rho_{\text{ц}}/\rho_{\text{км}} + \text{KM}/\rho_{\text{км}} + \text{MK}/\rho_{\text{мк}} + B)}{I_{\text{цдп}}^{\text{III}} + 1}; \quad (10)$$

$$V_{\text{щ}} = \frac{I_{\text{цд}}^{\text{II}} \cdot V_{\text{бс}} - (I_{\text{цд}}^{\text{II}} + 1) (\rho_{\text{ц}}/\rho_{\text{км}} + \text{KM}/\rho_{\text{км}} + \text{MK}/\rho_{\text{мк}} + B)}{I_{\text{цд}}^{\text{II}}}. \quad (11)$$

В высокопрочных и особо высокопрочных бетонах содержание каменной муки (КМ) может варьировать от 30 до 60%, а содержание микрокремнезема (МК) от 15 до 30% массы цемента. При этом в пропариваемых бетонах содержание МК может иметь верхний предел, осо-

бенно если каменная мука обладает реакционно-химической активностью с гидролизной известью портландцемента. Таким образом, содержание КМ и МК задается их долей  $\alpha_{\text{км}}$  и  $\alpha_{\text{мк}}$  от массы портландцемента, и тогда в формулах (10) и (11)  $\text{KM} = \alpha_{\text{км}} \cdot \text{Ц}$  и  $\text{MK} = \alpha_{\text{мк}} \cdot \text{Ц}$ .

Реологию гравитационного течения с самоуплотнением смесей без расслоения обеспечивает оптимальное водосодержание. Для ВПБ и ОВПБ водотвердое отношение, т. е. отношение массы воды к сумме сухих компонентов, составляет 0,07–0,08. Сумма сухих компонентов  $M_c$  обычно находится в пределах 2250–2350 кг в зависимости от плотности крупного заполнителя. Таким образом, содержание воды находится в пределах от 150 до 180 л.

Принимая объем бетона 1000 л без учета объема вовлеченного воздуха, окончательно можно записать:

$$V_{\text{п}} = \frac{1000 \cdot I_{\text{цдп}}^{\text{III}} - (I_{\text{цдп}}^{\text{III}} + 1) \left( \rho_{\text{ц}}/\rho_{\text{км}} + \text{KM}/\rho_{\text{км}} + \text{MK}/\rho_{\text{мк}} + M_c \cdot \frac{B}{T} \right)}{I_{\text{цдп}}^{\text{III}} + 1}; \quad (12)$$

$$V_{\text{щ}} = \frac{1000 \cdot I_{\text{цд}}^{\text{II}} - (I_{\text{цд}}^{\text{II}} + 1) \left( \rho_{\text{ц}}/\rho_{\text{км}} + \text{KM}/\rho_{\text{км}} + \text{MK}/\rho_{\text{мк}} + M_c \cdot \frac{B}{T} \right)}{I_{\text{цд}}^{\text{II}}}. \quad (13)$$

Если для расчета состава используется формула (13), то расход песка определится:

$$V_{\text{п}} = 1000 - V_{\text{щ}} - V_{\text{ц}} - V_{\text{км}} - V_{\text{мк}} - B. \quad (14)$$

Корректнее объем бетона принимать 980 л, учитывая, что редко в самоуплотняющихся бетонах содержание вовлеченного воздуха составляет менее 1,5%.

**Пример расчета состава самоуплотняющегося бетона.** Расход портландцемента М500 –  $630 \text{ кг/м}^3$  бетона при  $I_{\text{цдп}}^{\text{III}} = 3,3$ ; расход компонентов дисперсных наполнителей: КМ = 0,4Ц; МК = 0,2Ц; водотвердое отношение 0,07; масса сухих компонентов  $M_c = 2300 \text{ кг}$ . Тогда содержание воды будет 161 л. Плотность компонентов,  $\text{кг/м}^3$ :  $\rho_{\text{ц}} = 3100$ ;  $\rho_{\text{км}} = 2700$ ;  $\rho_{\text{мк}} = 2300$ ;  $\rho_{\text{п}} = 2600$ ;  $\rho_{\text{щ}} = 2700$ . Подставим расходы компонентов в формулу (13), получим  $V_{\text{щ}} = 332,7 \text{ л}$  и вычислим абсолютный объем песка  $V_{\text{п}} = 155 \text{ л}$ .

Расход компонентов по массе, кг: Ц = 630; КМ = 252; МК = 126; Щ = 898; П = 418; В = 161.

Значение  $I_{\text{цдп}}^{\text{III}} = 512,3/155 = 3,3$  равно заданному, а  $I_{\text{цдп}}^{\text{III}} = (512,3 + 155)/332,7 = 2$ . Масса сухих компонентов  $M_c = 2324 \text{ кг}$ .

#### Список литературы

1. Несветаев Г.В. О методологии оценки эффективности добавок для самоуплотняющихся бетонов // Дни современного бетона: Материалы X Международной науч.-практ. конф. 28–30 мая. Запорожье, 2008. С. 111–118.
2. Пластификаторы, суперпластификаторы, гиперпластификаторы и композиционные материалы на их основе // В тр. кафедры «Технология бетонов, керамики и вяжущих». Теория и практика. Пенза, 2008. 44 с.
3. Калашиков В.И. Основы пластифицирования минеральных дисперсных систем для производства строительных материалов. Дисс... д-ра техн. наук в форме научного доклада. 1996. 89 с.
4. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашиков В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд-во АСВ, 2006. 380 с.
5. Калашиков В.И. Проблемы использования высокопрочного и особо высокопрочного бетонов и основные принципы их создания // Дни современного бетона: Материалы X Международной науч.-практ. конф. 28–30 мая. Запорожье, 2008. С. 29–37.
6. Каприелов С.С. Комплексные добавки в бетоны нового поколения // В кн. «Химические и минеральные добавки в бетон». Харьков: Колорит, 2005. С. 104–117.

УДК 666.9.015.42

Р.Р. САХИБГАРЕЕВ, канд. техн. наук, В.В. БАБКОВ, д-р техн. наук,  
А.Е. ЧУЙКИН, канд. техн. наук, Ром. Р. САХИБГАРЕЕВ, инженер,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет (Республика Башкортостан)

## Особенности структурообразования цементного камня на поздних стадиях твердения

Ранняя и средняя по времени стадии структурообразования и нарастания прочности твердеющей водоцементной системы определяются растворением и гидратацией тонких и средних фракций клинкера размером от нескольких до 30–40 мкм. В этих условиях происходит формирование однородной структуры кристаллогидратного сростка, поризованного капиллярными порами. На начальной стадии структурообразования близко расположенные тонкие гранулы клинкера достаточно быстро растворяются и гидратируются с формированием флокул кристаллогидратных сростков, связанных между собой фазовыми контактами отдельных кристаллитов и кристаллов. Последующая стадия эволюции структуры определяется растворением средних по крупности фракций клинкера, уже достаточно удаленных и существенно изменивших исходный размер, однако еще способных обеспечить равномерное уплотнение и пространственную сшивку структуры с понижением капиллярной пористости. На этих стадиях происходит монотонное упрочнение структуры при повышении степени гидратации вяжущего.

По мере растворения тонких и средних фракций клинкера снижается удельная поверхность вяжущего. При достижении твердеющей системой степени гидратации  $\sim 0,8$  стандартный по гранулометрическому составу исходный цемент, содержащий до 10–20% грубодисперсной фракции  $>80$  мкм, представляет собой более или менее однородную структуру кристаллогидратного сростка с капиллярной пористостью, определяемой исходным водоцементным отношением. Эта структура содержит также взаимно удаленные гранулы грубодисперсных фракций клинкера, которые в условиях последующего растворения и гидратации оказывают лишь локальное структурообразующее действие посредством распределения гидратной фазы в капиллярных порах, расположенных в окрестности гранул. При этом на уже сформировавшийся объем цементного камня и соответственно на его прочность эта стадия структурообразования не оказывает влияния.

Такие представления о структурообразовании на поздней стадии гидратации подтверждаются данными

характера роста прочности цементного камня  $R_c$ , цементных бетонов в координатах  $R_c - \Phi_0$ , полученными из анализа работ [1–3] и др. Характеристика структуры цементного камня  $\Phi_0$  представляет собой относительную объемную концентрацию плотных продуктов гидратации в так называемом пространстве – разнице единицы объема и объема непрогидратировавшего клинкера. Параметр  $\Phi_0$  может быть рассчитан по исходному водоцементному отношению  $W$  и общей пористости цементного камня  $P_0$  или степени гидратации вяжущего  $\theta$  [4]:

$$\Phi_0 = \frac{v_0}{\frac{v_0 - 1}{1 - P_0(1 + c/W)} + 1} = \frac{v_0}{W/c\theta + 1}, \quad (1)$$

где  $v_0 \approx 1,67$  – коэффициент увеличения объема твердой фазы при гидратации;  $c \approx 0,32$  – отношение плотности воды и цементного клинкера.

На рис. 1 представлены данные обработки экспериментов [2] по водному твердению образцов цементно-песчаных растворов (балочки  $4 \times 4 \times 16$ ) состава 1:3 в течение 1 года. Данные относятся к четырем портландцементам, существенно различающимся по минералогическому составу и удельной поверхности (табл. 1) с широким диапазоном  $W = 0,4 - 0,8$ . Параметр  $\Phi_0$  в данном случае рассчитан по степени гидратации (1).

Несмотря на значительное различие цементов по составу и величине  $W$  в растворах, количественный характер зависимости  $R_c - \Phi_0$  до значений  $\theta \approx 0,8$  является практически одинаковым. Практически во всех случаях после достижения твердеющей системой степени гидратации  $\theta \approx 0,8 - 0,85$  скорость упрочнения  $\partial R / \partial \Phi_0$  в условиях продолжающейся гидратации резко снижается, т. е. твердеющая структура на этой стадии гидратации оказывается неспособной к упрочнению.

Рассмотрим состояние системы с исходным водоцементным отношением  $W$  и степенью гидратации  $\theta$ . Уменьшение удельной поверхности вяжущего по мере гидратации можно описать зависимостью:

$$S_x(\theta) = S_{x0}(1 - \theta)^{(2+k)/3}, \quad (2)$$

Таблица 1

№ цемента в серии	Минералогический состав, мас. %						Удельная поверхность $S_{\text{уд}}$ , см <sup>2</sup> /г
	C <sub>3</sub> S	$\beta$ -C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CSH <sub>2</sub>	шлак, минеральные добавки	
ПЦ1	41,3	31,3	11,9	11,5	4,3	13,7	3280
ПЦ2	51,2	26,3	8,2	10	4,3	12,8	3050
ПЦ3	35,4	33,9	12,7	8,8	4,3	–	4280
ПЦ4	57	13,2	12,5	8,4	5,6	–	5440

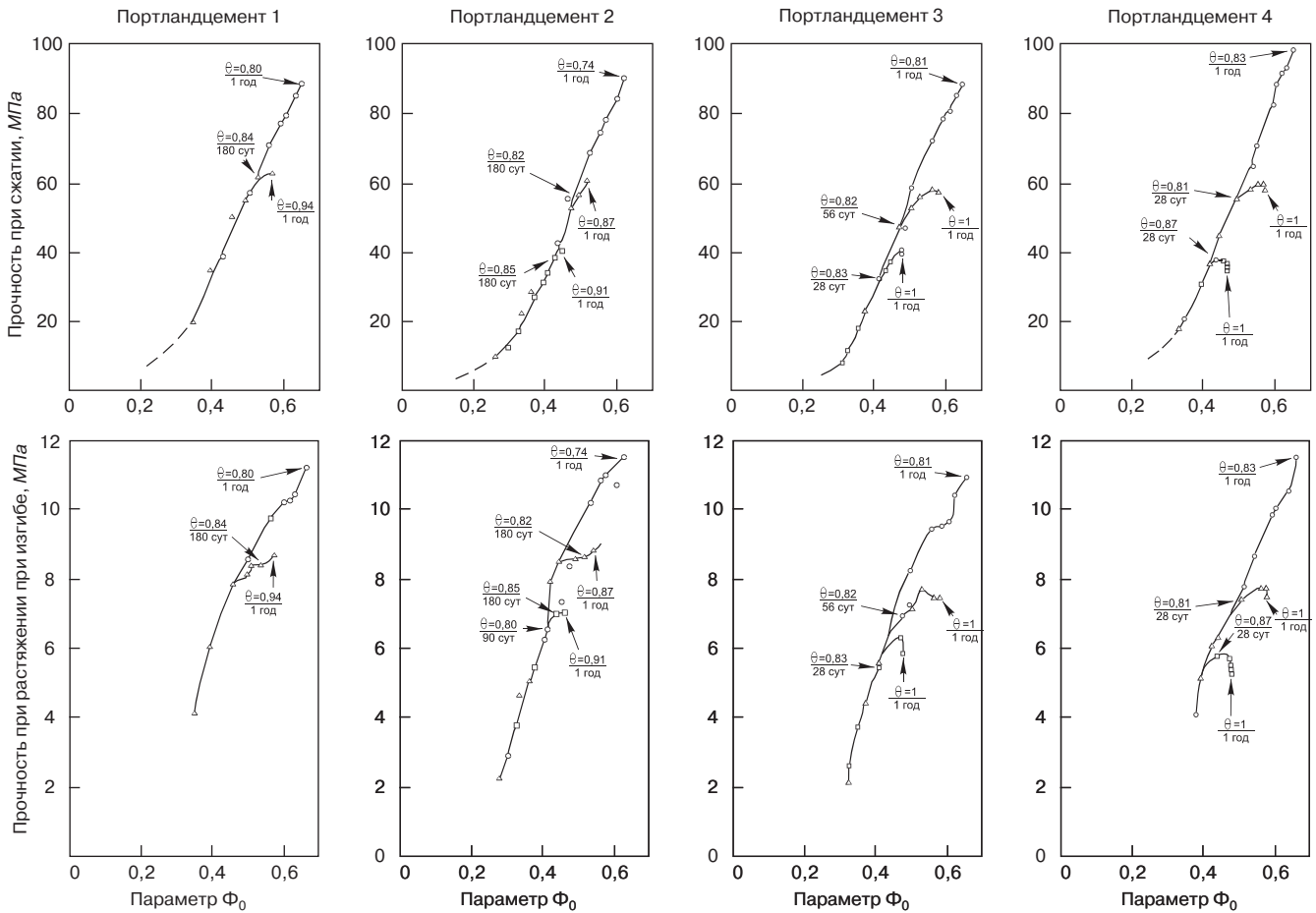


Рис. 1. Зависимости прочности при сжатии и растяжении при изгибе цементно-песчаных растворов водного твердения от параметра  $\Phi_0$  для цементов различного минералогического состава (табл. 1, обработка данных П. Цатарина):  $\circ$  – В/Ц = 0,4;  $\Delta$  – В/Ц = 0,6;  $\square$  – В/Ц = 0,8. Стрелками для отдельных точек отмечены возраст и степень гидратации вяжущего  $\theta$

где  $S_x(\theta)$  – удельная поверхность вяжущего на единицу объема системы на стадии гидратации  $\theta$ ,  $\text{см}^2/\text{см}^3$ ;  $S_{x_0} = x_0 S_o = c/(c+W) \gamma_x S_o$  – исходная удельная поверхность вяжущего на единицу объема,  $\text{см}^2/\text{см}^3$ ;  $x_0$  – расход вяжущего,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $S_o$  – удельная поверхность вяжущего в размерности  $\text{см}^2/\text{г}$ ;  $k$  – показатель, характеризующий распределение частиц исходного вяжущего по размерам, при высокой доле крупнодисперсной фракции в вяжущем  $k \approx 3-7$ .

Для поздней стадии твердения ( $>0,8$ ) в рамках упрощенной пространственной модели твердеющей системы с кубической упаковкой сохранившихся частиц вяжущего введем допущение об идентичности размеров этих крупных в исходном состоянии гранул вяжущего.

Относительный объем сохранившихся частиц вяжущего в водоцементной системе на стадии гидратации  $\theta$  можно рассчитать как:

$$V_x(\theta) = \frac{1-\theta}{W/c+1} \quad (3)$$

Для одномерных частиц изометрической конфигурации с размером  $d$  их удельную поверхность и удельный объем можно представить в виде:

$$S_x(\theta) = 6nd^2; \quad V_x(\theta) = nd^3, \quad (4)$$

где  $n$  – число сохранившихся частиц вяжущего в единице объема.

Из уравнений (2)–(4) найдем средний размер сохранившихся гранул клинкера:

$$d = \frac{6V_x(\theta)}{S_x(\theta)} \quad (5)$$

Далее по численному значению  $d$  можно рассчитать следующие параметры системы:

– число частиц в единице объема:

$$n = \frac{V_x(\theta)}{d^3} \quad \text{или} \quad \frac{S_x(\theta)}{6d^2};$$

– объем, приходящийся на одну частицу, в предположении их однородного распределения:

$$(L)^3 = \frac{1}{d^3},$$

где  $L$  – расстояние между центрами оставшихся частиц.

Из полученного таким образом расположения частиц в пространстве, характеризуемого параметром  $L$ , найдем расстояние между гранулами вяжущего:

$$L' = L - d.$$

На данной стадии гидратации формируется структура цементного камня в виде матрицы из поризованного капиллярными порами кристаллогидратного сростка и отдельных крупноразмерных гранул клинкера невысокой объемной концентрации. На этой стадии без учета перекристаллизации кристаллогидратных фаз структурообразование цементного камня можно считать завершенным. Капиллярная пористость сформированной структуры при этом определяется зависимостью [4]:

$$P_x = \frac{W/c - \theta(v-1)}{W/c+1}, \quad (6)$$



Таблица 2

k	Значение $S_x(\theta)$ при $\theta=0,8$ , $\text{см}^2/\text{см}^3$	Размерные параметры системы при $W=0,8$ , $\theta=0,8$ , мкм				
		d	L	$L'=L-d$	$d'$	$L''=L-d'$
1	540	6,4	16,5	10	9	7,5
4	108	31,8	82	50	44,5	37,5
7	21,6	150	385	235	210	175

где  $v \approx 1,39$ ,  $v_0 \approx 2,1$  – коэффициент увеличения объема гидратной фазы, включающей объем гелевых пор, по отношению к объему исходного вяжущего.

Последующие стадии структурообразования при наличии воды будут определяться продолжением растворения сохранившихся гранул клинкера с размещением продуктов гидратации в капиллярном пространстве (рис. 2). При этом будет происходить локальное уплотнение и упрочнение структуры. Благоприятным обстоятельством в данном случае при одинаковой степени гидратации является повышенная дисперсность остатков вяжущего, которая обуславливает повышение удельной поверхности  $S_x(\theta)$  и уменьшение расстояния между границами флоклу до соизмеримого с размером структурной ячейки кристаллогидратной матрицы, включающей одну или несколько капиллярных пор. Это расстояние можно рассчитать для стадии полной гидратации гранулы, сформировавшей флоклу размером  $d'$ :

$$L'' = L - d'. \quad (7)$$

Объем кристаллогидратного сростка после полной гидратации гранулы размером  $d$  составит  $d^3 v$ . При этом объем флоккулы составит:

$$(d')^3 = d^3 \left(1 + \frac{v-1}{1-P_x}\right). \quad (8)$$

Рассчитаем параметры структуры цементного камня при исходном  $W=0,8$  и степени гидратации  $\theta=0,8$  для

трех функций распределения гранул клинкера по размерам, характеризующимся значениями  $k$  в уравнении (2), равными 1, 4 и 7 для исходной удельной поверхности вяжущего  $S_0 = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Данные расчетов приведены в табл. 2.

Наиболее близким к реальному исходному распределению гранул вяжущего по размерам является вариант  $k=4$  (табл. 2). В данном случае средний размер остатков грубой фракции гранул клинкера на стадии  $\theta=0,8$  составляет около 30 мкм. После полной гидратации остатков клинкера согласно табл. 2 расстояние между гранулами уплотненных флоккул составит около 40 мкм. Первичная структурная ячейка цементного камня ( $W=0,8$ ,  $\theta=0,8$ ) включает капиллярные поры радиусом 0,3–5 мкм [4, 6], что приблизительно на десятичный порядок меньше интервала между флоккулами гидратной структуры, сформированной крупноразмерными гранулами клинкера.

Таким образом, завершающая стадия структурообразования, связанная с полной гидратацией остатков грубодисперсной фракции клинкера, практически не способна оказать влияние на сформировавшуюся при  $\theta=0,8$  структуру и соответственно на прочность цементного камня.

Последующее разупрочнение, фиксируемое в тех же экспериментах на стадии гидратации  $\theta=0,9-1$  (рис. 1), объясняется локальными повреждениями развивающейся структуры усадочного и перекристаллизацион-

Таблица 3

Глубина гидратации цементных гранул, мкм	Степень гидратации $\theta$				Средний диаметр непрогидратировавших частиц вяжущего/среднее расстояние между гранулами этих частиц, мкм			
	ПЦ500Д0, ОАО «Сода»	ПЦ400Д0, ОАО «Сода»	ПЦ400Д20, ОАО «Сода»	ПЦ400Д20, Катав-Ивановск	ПЦ500Д0, ОАО «Сода»	ПЦ400Д0, ОАО «Сода»	ПЦ400Д20, ОАО «Сода»	ПЦ400Д20, Катав-Ивановск
0	0	0	0	0	34,1/0	53,6/0	48,7/0	22,6/0
2,5	0,38	0,28	0,31	0,46	36,3/4,15	54,9/3,25	50,8/3,83	25,2/4,25
7,5	0,66	0,53	0,57	0,75	35,6/12,8	53,5/12,1	50,1/12,9	24/12,1
15	0,83	0,72	0,75	0,88	37,2/26,8	54,6/25	51,6/26,3	24,2 22,8
25	0,92	0,84	0,86	0,97	38,9/47,1	56,7/42,5	53,9/44,7	23,7/47,2
35	0,96	0,9	0,91	0,99	41,6/71,3	59,4/61,8	57,2/65,5	24,6/77,5
45	0,97	0,93	0,94	0,99< $\theta$ <1	43,3/95,5	59,9/80,3	58,4/85,7	25,6/116
55	0,98	0,96	0,96	0,99< $\theta$ <1	43,9/121	58,4/97,6	57,4/104	26,6/174
65	0,99	0,97	0,98	0,99< $\theta$ <1	44,7/146	56,5/116	55,6/125	27,9/237
75	0,99	0,98	0,98	0,99< $\theta$ <1	46,4/183	55,2/138	54,6/147	30,8/284
85	0,99< $\theta$ <1	0,99	0,99	0,99< $\theta$ <1	49,8/226	54,6/166	54,5/178	37,5/442
95	0,99< $\theta$ <1	0,99	0,99	0,99< $\theta$ <1	55/307	55/206	55/232	55/752

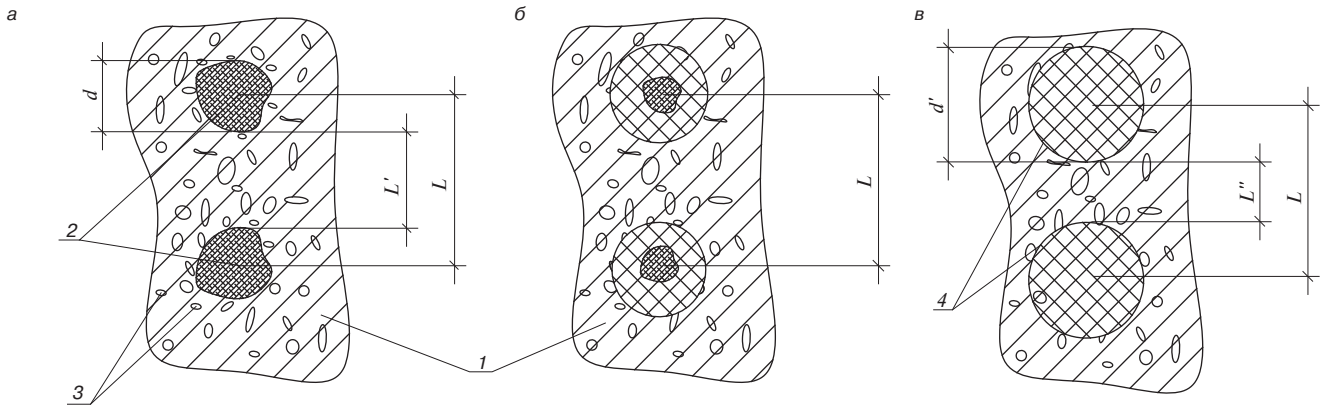


Рис. 2. Поздние стадии структурообразования цементного камня: а –  $\theta \approx 0,8$ ; б –  $0,8 < \theta < 1$ ; в –  $\theta \approx 1$ ; 1 – кристаллогидратный сросток; 2 – оставшиеся гранулы клинкера; 3 – капиллярные поры; 4 – условная внешняя граница флокулы, образованной после растворения и полной гидратации грубодисперсной гранулы клинкера

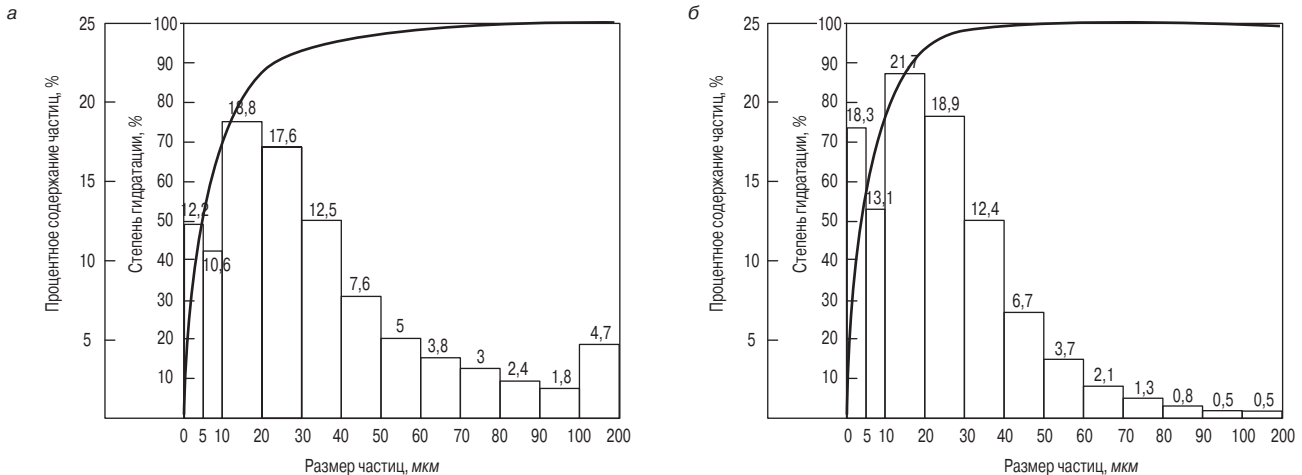


Рис. 3. Распределение по размерам частиц цемента ПЦ500Д0 производства ОАО «Сода» (а), ПЦ400Д20 производства Катав-Ивановского цементного завода (б) по результатам лазерной гранулометрии и расчетная степень гидратации при полном растворении частиц цемента соответствующего размера и при глубине гидратации, равной среднему радиусу этих частиц

ного происхождения [5, 7]. В частности, гидросиликатная составляющая цементного камня на ранней стадии гидратации в морфологическом аспекте представляет собой совокупность кристаллитов игольчатой и нитевидной конфигурации с основностью  $C/S > 1,5$ . На поздней стадии гидратации основность гидросиликатной составляющей понижается, а ее структура приобретает форму тонких пластинок или перфорированной фольги. Также снижается средняя плотность и объем кристаллической фазы, что в совокупности обуславливает развитие внутренних напряжений растяжения.

Деструктивные процессы на ранней и средней по времени стадии твердения идут на фоне мощного структурообразования, обусловленного притоком равномерно распределяемой в объеме гидратной фазы. При наличии резерва клинкерного фонда и непрерывной подпитки через раствор локальные повреждения структуры способны к самозалечиванию, что предопределяет на этих стадиях доминирование структурообразования и нормальный характер зависимостей  $R_c - \Phi$ .

Разупрочнение наиболее интенсивно проявляется на цементах высокой дисперсности (ПЦ3, ПЦ4, табл. 1, рис. 1), быстро теряющих клинкерный фонд, а также при повышенных значениях  $В/Ц$ , стимулирующих ускорение гидратации.

Нейтрализация деструктивных процессов может быть достигнута сохранением резерва клинкерного фонда в структуре на всем эксплуатационном цикле, что можно обеспечить оптимизацией дисперсности цемента.

В свете названных особенностей поведения цементных структур на поздних стадиях твердения из цемента

с разным гранулометрическим составом (рис. 3) для предложенной глобулярной модели гидратируемой и твердеющей цементной системы выполнен расчет ее параметров, ответственных за конечную прочность и долговечность цементных бетонов, – объемной концентрации, среднего размера негидратировавших гранул клинкера и среднего расстояния между ними (табл. 3). Полученные данные хорошо коррелируют с описанной особенностью структурообразования.

Список литературы

1. Smolczyk H.-G., Romberg H. Der Einfluss der Nachbehandlung und der Lagerung auf die Nacherhärtung und Porenverteilung von Beton (Teil 1, 2) // Tonindustrie Zeitung. 1976. № 10. S. 349–357; № 11. S. 381–390.
2. Catharin P. Hydratationswärme und Festigkeitentwicklung (Teil 1, 2) // Betonwerk + Fertigteil-Technik. 1978. № 10. S. 539–544; № 12. S. 729–733.
3. Vivian H.E. Effect of Particle Size on the Properties of Cement Paste // Symp. Structure of Portland Cement. 1966. P. 18–25.
4. Бабков В.В. и др. Структурообразование и разрушение цементных бетонов. Уфа: Уфимский полиграфкомбинат, 2002. 376 с.
5. Химия цемента / Под ред. Х.Ф.У.Тейлора. М.: Изд-во лит-ры по стр-ву, 1969. 501 с.
6. Данюшевский В.С. Проектирование оптимальных составов тампонажных цемента. М.: «Недра», 1978. 293 с.
7. Бабков В.В. и др. Аспекты долговечности цементного камня // Цемент. 1988. № 3. С. 14–16.

П.Г. КОМОХОВ, д-р техн. наук, академик РААСН, А.М. ХАРИТОНОВ, канд. техн. наук, Петербургский государственный университет путей сообщения

## Вероятностный аспект численного моделирования цементных систем

Перспектива развития строительного материаловедения определяется переходом от эмпирического познания к численному моделированию исследуемых систем, базирующемуся на выявленных закономерностях формирования структуры и свойств материалов. Известные аналитические методы исследования цементных систем обладают рядом недостатков, связанных со сложностью математического описания структуры, имеющей вероятностный характер.

Реализация алгоритмов численного моделирования, направленных на описание взаимодействия отдельных структурных элементов, сформировалась в новое научное направление — компьютерное материаловедение [1, 2]. В основе подобного моделирования свойств материалов должна лежать имитационная модель структуры, отражающая вероятностное распределение ее компонентов в некотором объеме, обусловленное влиянием большого количества различных факторов.

Для исследования вероятностных свойств цементных композиций разработана программа *PoreSolution* [3], реализующая метод Монте-Карло. В качестве основных вероятностных факторов, определяющих свойства цементных систем на исследуемых масштабных уровнях, рассматривали распределение элементов структуры по размерам и их взаимное расположение. Для использования метода Монте-Карло необходима априорная экспе-

риментальная информация в виде распределений указанных случайных величин.

Алгоритм моделирования структуры цементных композиций, заложенный в программе *PoreSolution*, обеспечивает заполнение полигона модели структурными элементами рассматриваемых фаз в соответствии с заданным распределением по размерам. При размещении элементов фаз обеспечивается выполнение следующего условия: фазы не должны выходить за пределы модели и накладываться друг на друга. Геометрические элементы могут быть представлены фигурами как правильной, так и произвольной формы.

Кроме того, в программе *PoreSolution* предусмотрена теоретическая оценка влажностной усадки пористых материалов, базирующаяся на зависимости капиллярного давления и свободной поверхностной энергии от изменения относительной влажности среды [4].

После размещения элементов структуры по найденным координатам дальнейшими этапами создания модели являются представление структуры в виде совокупности конечных элементов, присвоение физических свойств каждому структурному элементу, задание условий закрепления модели. Эта часть создания модели связана с использованием программного комплекса ANSYS.

Полученные значения капиллярного давления реализуются в модели в виде внешней нагрузки, прикладываемой к граням конечных элементов, лежащих по поверхностям пор. Задают значения деформации от изменения поверхностной энергии твердой фазы и затем определяют общие усадочные деформации.

Невозможно рассмотреть полную гетерогенность цементных систем в одной модели. Для оценки свойств композиции необходим ряд разноуровневых приближений, предусматривающих создание для каждого масштабного уровня структуры отдельной модели. Информация о свойствах дискретной модели одного масштабного уровня может затем быть использована для модели следующего уровня в качестве исходных данных.

Общая схема расчета влажностной усадки приведена на рис. 1. Для оценки влажностной усадки цементно-песчаной композиции принято десять масштабных уровней. Три начальных уровня (200×200, 800×800 нм и 5×5 мкм) включают поры размером 0,6–120 нм. Следую-

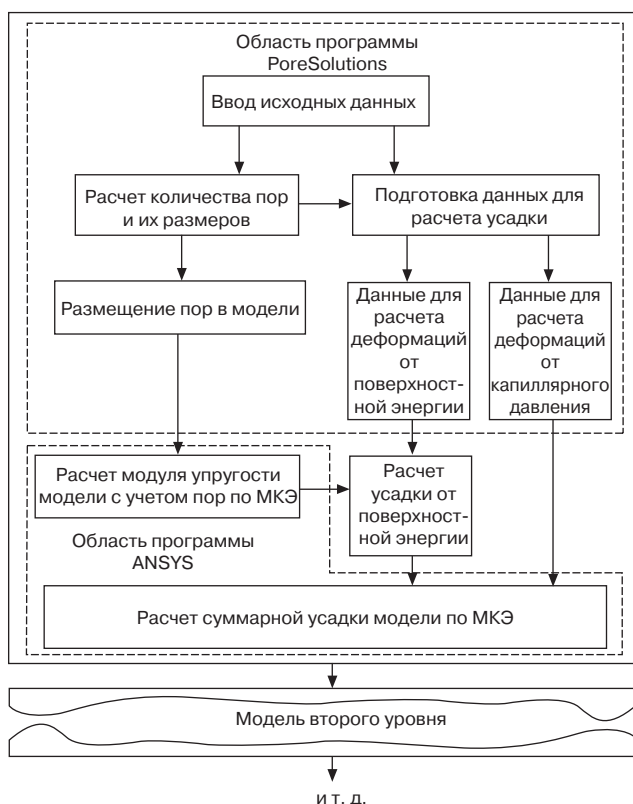


Рис. 1. Блок-схема расчета усадочных деформаций

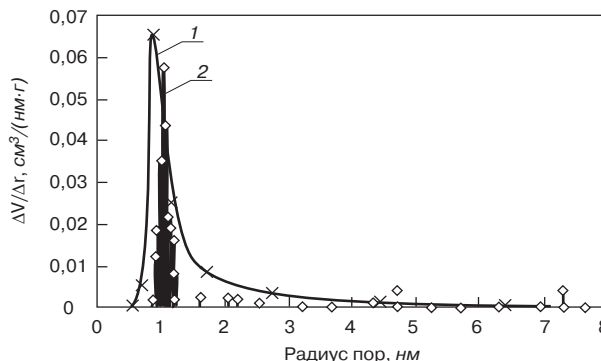


Рис. 2. Дифференциальное распределение пор, определенное экспериментально (1) и реализованное программой (2)

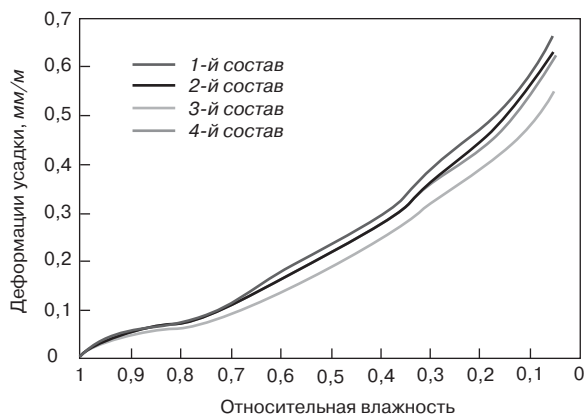


Рис. 3. Расчетные величины деформаций влажностной усадки

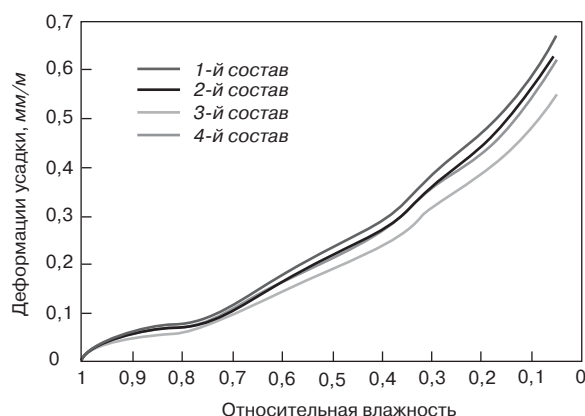


Рис. 4. Экспериментальные значения влажностной усадки

Состав	Отношение цемент : песок	Количество суперпластификатора С-3, %	В/Ц	Подвижность состава по распылу конуса, мм
1	1:2	0,5	0,35	163
2	1:2,5	0,5	0,43	168
3	1:2,5	–	0,51	163
4	1:3	–	0,6	168

**Примечание.** В исследованиях использовался цемент ПЦ500Д0.

ше четыре уровня (50×50, 100×100, 200×200 и 500×500 мкм) включают структурные элементы, относящиеся к портландиту, этtringиту, негидратированному клинкеру, а также пористости. При создании модели поры принимали в виде окружностей, а элементы кристаллогидратной фазы – произвольной формы. Макроуровень цементно-песчаной системы, представленный моделями размером 5×5, 25×25 и 50×50 мм, учитывает зерна песка размером 0,2–5 мм и поры диаметром 0,01–1,7 мм.

На рис. 2 приведено распределение пор по размерам, установленное экспериментально для наноуровня цементного камня и реализованное в программе *PoreSolution*. Как видно из представленных графиков, программа обеспечивает высокую сходимость распределений.

Параметры пористости цементной композиции в возрасте 28 сут нормально-влажностного твердения определяли протонным магнитным резонансом, ртутной порометрией, а также стереометрическими методами. Содержание основных кристаллогидратных фаз (портландита, этtringита и негидратированного цемента) установлено количественным рентгеноструктурным и термографическим анализом.

Расчет деформации влажностной усадки по методике [4] с использованием описанного выше алгоритма вероятностного формирования имитационных моделей структуры произведен на примере цементно-песчаных композиций, составы которых приведены в таблице.

На рис. 3 представлены результаты расчета деформаций влажностной усадки цементно-песчаных композиций (в возрасте 28 сут) в зависимости от относительной влажности окружающей среды, на рис. 4 – экспериментальные величины усадки.

Сравнение результатов исследований позволяет сделать вывод о достаточно хорошей сходимости расчетных и экспериментальных усадочных деформаций как по абсолютной величине, так и по характерным перегибам кривых при влажности 30, 70 и 90%. Названные величины относительной влажности являются точками непропорционального нарастания собственных деформаций, которые присущи всем исследованным составам. Это обусловлено

наличием в цементном камне значительного объема пор диаметром 2, 5 и 40 нм, осушаемых при соответствующей величине влажности окружающей среды.

В этой связи параметры пористости являются основным фактором, определяющим усадку. Мелкопористая структура цементных систем в большей степени подвержена деформациям влажностной усадки. Поэтому составы с суперпластификатором или с высоким В/Ц при прочих равных условиях характеризуются более высокой величиной деформации.

Предложенная методика расчета собственных деформаций цементных систем позволяет оценить влияние усадки на общее напряженно-деформированное состояние конструкции в совокупности с эксплуатационными нагрузками. Проведенные расчеты на примере железобетонной шпалы для железнодорожного пути показали, что доля локальных напряжений, обусловленных влажностной усадкой бетона, достигает 10%. В конструкциях без предварительного напряжения арматуры степень влияния усадки значительно выше, доля указанных напряжений достигает 20%.

**Список литературы**

1. Баженов Ю.М., Воробьев В.А., Илюхин А.В. Основные подходы к компьютерному материаловедению строительных композитных материалов // Строит. материалы. 2006. № 3 / Наука. № 7. С. 2–4.
2. Garboczi E.J., Bentz D.P., Frohnsdorff G.J. The Past, Present, and Future of the Computational Materials Science of Concrete // Materials Science of Concrete Workshop; Proceedings: Center for Advanced-Cement-Based Materials (ACBM), Lake Shelbyville, IL. 2000. P. 1–10.
3. Харитонов А.М. Моделирование структуры цементного камня и процессов усадки *PoreSolution*. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008611545 от 26.03.2008.
4. Комохов П.Г., Харитонов А.М. Структура и свойства цементного камня с позиции компьютерного материаловедения // Academia. Архитектура и строительство. 2007. № 7. С. 63–66.

# СОВРЕМЕННЫЕ БЕТОНЫ

## К ЮБИЛЕЙНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ В КРЫМУ

Алушта, 28–30 мая 2008 г.

«Дни современного бетона» – под таким названием компания «Будиндустрия» (Запорожье) проводит ежегодные международные научно-практические конференции. В этом году конференция юбилейная, так как проводится 10-й раз, в год 15-летия деятельности компании – одного из крупнейших украинских производителей комплексных добавок в цементы, бетоны, строительные растворы (сухие смеси).

Слово *конференция*, как известно, происходит от латинского понятия *conferre* – собирать в одном месте представителей общественных, научных, промышленных и иных организаций для обсуждения каких-либо проблем или вопросов. Представительность и статус конференций зависят от актуальности и значимости обсуждаемых проблем, компетентности и авторитетности организаторов и, что немаловажно, от возможностей обеспечить условия результативности проведения конференции.

По всем этим параметрам конференции «Дни современного бетона» являются интересными, полезными и важными. Проблемы бетоноведения, технологий товарного бетона, железобетонных изделий, специальных бетонов, ремонта и защиты бетона, производства цемента и сухих строительных смесей и, конечно, добавок системно и глубоко обсуждаются на этих конференциях ведущими специалистами Украины, России, Польши и Беларуси. Основные участники, число которых достигает 180–200, – производственники. Сочетание в докладах высокого научного уровня с насущными производственными интересами – основной фактор, обеспечивающий постоянный успех конференции.

Вот и в юбилейном 2008 г. в проведении «Дней современного бетона» активно участвовали известные ученые, доклады которых с неподдельным интересом слушали производственники из всех регионов Украины. Уровень слушателей заметно растет от конференции к конференции, что требует от докладчиков серьезной подготовительной работы. Обсуждаемая информация, естественно, постоянно обновляется.



Участники конференции «Дни современного бетона–2008»

Автор этих строк подготовил доклад «Бетон – философский строительный камень», рассчитывая не без оснований на возрастающую профессиональность производителей и потребителей бетона. Обращение к известному опыту алхимии также не случайно. Рост наукоемкости бетоноведения, познание сложнейших процессов твердения бетона, взаимодействия его компонентов обусловили, что известно, развитие концепций бетонов нового поколения. В этом свете обращено серьезное внимание на функциональность и совместимость компонентов между собой на этапах твердения и эксплуатации. Сформулированы методологические принципы познания и основанные темы бетоноведения.

Доктора техн. наук *С.В. Коваль* и *Л.А. Шейнич* ознакомили участников со своими способами решения технологических задач проектирования самоуплотняющихся бетонов и влияния добавок на тепловыделение. Приятно отметить возрождение интереса к калориметрии на данной конференции.

Довольно значительная группа польских ученых и практиков представила доклады по уходу за бетоном (проф. *В. Курдовски*), компьютеризированному проектированию бетона с добавками (проф. *Я. Шливински*), методам оценки карбонизации (проф. *Л. Чарнецки*) и др.

Из украинских докладов выделяются работы, выполненные под руководством д-ра техн. наук *Р.Ф. Руновой*, касающиеся влияния структуры ПАВ поликарбоксилатного типа на твердение и свойства бетонов.

Россия была представлена сообщением канд. техн. наук *Г.С. Кардумян* (Москва) об опыте возведения уникальных зданий и сооружений из высокопрочных и самоуплотняющихся бетонов. Интересен материал докторов техн. наук *В.И. Калашникова* (Пенза) и *Г.В. Несветаева* (Ростов-на-Дону) и др. Белорусские коллеги (д-р техн. наук *Н.П. Блещик* и канд. техн. наук *М.Ф. Марковский*) поделились своим опытом.

Естественно, все участники отметили существенный вклад юбиляра – компании «Будиндустрия» в развитие технологии бетона. Добавки системы «Релаксол» и их аналоги в России и Украине прочно удерживают свои позиции на рынке, помогая осуществлять серьезные инвестиционные проекты, совершенствуя технологию бетона и железобетона. Сам факт систематического проведения конференции одной фирмой есть свидетельство глубокого уровня мышления и широкого кругозора ее руководителей. Атмосфера конференций всегда высокопрофессиональна и доброжелательна, а значит, результативна.

К конференции подготовлены, как принято, объемный сборник докладов, справочное пособие и монография «Комплексные добавки в бетон. Система «Релаксол» ученого секретаря форума канд. техн. наук *Т.В. Бабаевской*. В книге приведен полный перечень публикаций по добавкам «Релаксол» за 2000–2008 гг.

И в этот раз конференция работала продуктивно, несмотря на «отягчающий» фактор – близость к морю, пляжу и прекрасным крымским курортным местам...

**А.В. Ушеров-Маршак,**  
д-р техн. наук, Харьков

В.И. ЛОГАНИНА, д-р техн. наук, Г.А. ФОКИН, д-р техн. наук,  
Н.Г. ВИЛКОВА, д-р хим. наук, Я.А. КАРАСЕВА, инженер,  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

## Повышение активности воды затворения цементных систем акустическим полем

В настоящее время известно множество оригинальных способов повышения реакционной способности цемента. Среди перспективных инновационных технологий, наиболее готовых к реализации в строительной отрасли, выделим активирование воды затворения.

Описаны способы изменения энергетического состояния воды с помощью электрических, магнитных, электромагнитных, электрохимических радиационных, звуковых полей и др. [1, 2]. Однако в концепции ресурсосбережения наибольший интерес представляет низкоэнергетическая активация цементных систем.

Несмотря на многолетние исследования, природа низкоэнергетической активации воды и механизм ее осуществления до сих пор остаются невыясненными. В первую очередь это обусловлено недостаточной изученностью структуры и свойств воды, ее способностью легко откликаться даже на слабые воздействия. Но именно это научное направление и является одним из не только самых актуальных, но и наиболее перспективных в теоретическом и практическом отношении.

Влиянию акустических полей на химические свойства воды посвящено большое количество работ. Отмечено снижение общей жесткости воды, повышение рН водных растворов при воздействии акустических колебаний.

Настоящая статья посвящена изучению влияния на свойства цементных систем воды затворения, обработанной среднечастотным акустическим полем.

Для возбуждения акустических колебаний в воде использовали пьезоэлектрический датчик, который располагали на дне емкости объемом 25 л. Датчик химически нейтрален, односторонний, потребляемая из сети мощность 9 Вт.

Наблюдали рост рН воды с 7,3 до 7,7 в течение 6 ч воздействия акустическим полем, дальнейшая обработка воды акустическими колебаниями не приводила к изменению рН. Отметим, что рН измеряли в течение 5 мин после отключения акустического поля.

На основе активированной воды готовили цементное тесто нормальной густоты, из которого формовали образцы, твердевшие в нормальных условиях. В качестве вяжущего был взят вольский цемент М400, для затворения использовали водопроводную воду ГОСТ 2874–82. Установлено, что активация воды ускоряет схватывание и твердение цемента в начальные сроки. Изменение прочности при сжатии образцов цементного камня в возрасте 1, 7, 14, 28 сут в зависимости от времени

обработки жидкости носит экстремальный характер (см. таблицу). Как следует из результатов эксперимента, максимальная прочность достигается после 3 ч обработки воды затворения акустическим полем.

Для оценки реологических свойств цементных систем была определена пластическая прочность цементного раствора. На рис. 1. представлены результаты измерения пластической прочности цементного раствора состава Ц:П = 1:2, В/Ц = 0,5 от времени твердения. Пластическую прочность раствора измеряли с помощью пластометра КП-3. Как видно из рис. 1, затворение цементной смеси активированной водой ускоряет твердение на начальной стадии. Так, через 4,5 ч твердения пластическая прочность контрольных образцов составляла  $\tau_0 = 1,3$  МПа, а составов на активированной в течение 3 ч воде –  $\tau_0 = 4,32$  МПа.

Использование низкоэнергетической обработки воды затворения ускоряет гидратацию частиц цемента. В данной работе гидратацию оценивали по изменению концентрации ионов кальция в 18% цементной суспензии комплексометрическим методом после 2 ч затворения. Проведенные опыты показали увеличение на 10% концентрации ионов  $Ca^{2+}$  в цементной суспензии на основе активированной воды по сравнению с содержанием их при затворении цемента водопроводной водой.

Исследование кинетики водопоглощения растворных образцов состава Ц:П = 1:7 и В/Ц = 0,9, затворенных водопроводной и акустически активированной водой, свидетельствует об уменьшении показателя сред-

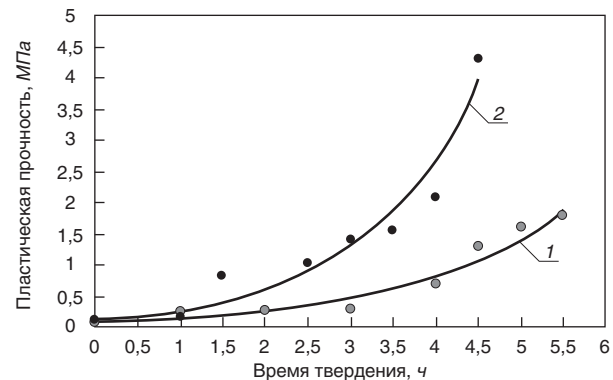


Рис. 1. Кинетика пластической прочности цементного раствора: 1 – на водопроводной воде; 2 – на акустически активированной в течение 3 ч воде

Время твердения, сут	Прочность при сжатии, МПа						
	Контрольный образец	Время воздействия на воду, ч					
		1	2	3	4	5	6
1	15,9	16,4	17,1	22,4	18,4	10	11
7	45,9	48,9	54,7	66,2	62	58	48,4
14	48,5	50,7	55,7	69,8	62,4	55,1	50,8
28	53,6	55,8	58,9	75,9	61,8	61,2	58,6

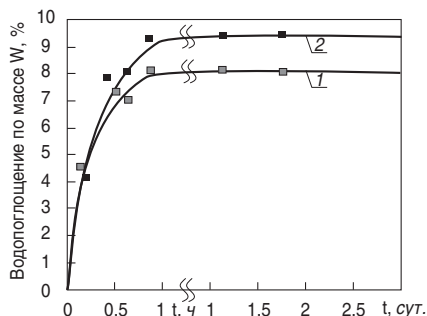


Рис. 2. Кинетика водопоглощения образцов: 1 – на акустически активированной воде; 2 – на водопроводной воде

него размера открытых капиллярных пор с  $\lambda = 10,23$  до  $\lambda = 4,2$  соответственно, при этом показатель однородности размеров открытых капиллярных пор изменился от  $\alpha = 0,3$  до  $\alpha = 0,95$ . Полученные данные свидетельствуют об улучшенной структуре образцов, изготовленных на активированной воде (рис. 2).

На рис. 3 приведены фотографии поверхностей разрушения образцов-кубов ( $\times 60$ ), полученных при значениях Ц: П=1:1 и В/Ц=0,6 после их испытания на сжатие. У образцов, затворенных необработанной водой, имеет место развитая объемная макро- и микропористость. У образцов, затворенных активированной водой и имеющих аналогичный состав, при прочих равных условиях наблюдается хорошо сформировавшаяся структура, имеющая минимальное количество пор.

Рассмотренная методика активирования воды предусматривает в технологии производства наличие двух емкостей, которые будут работать попеременно по мере расхода активированной воды. Жизнеспособность воды в активном состоянии составляет не менее 3 ч. Количество пьезо-

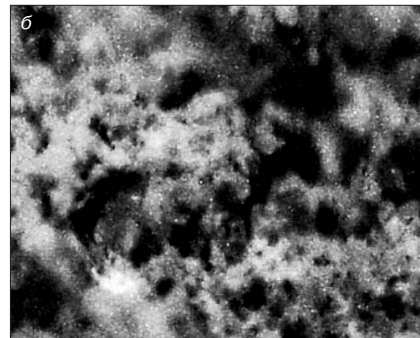
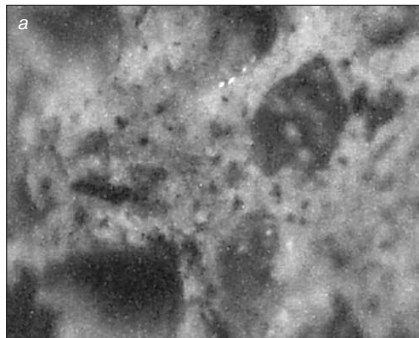


Рис. 3. Фотография поверхности скола образца: а – изготовленного из водопроводной воды; б – изготовленного из воды, обработанной акустическим полем

электрических датчиков рассчитывается в зависимости от объема обрабатываемой воды (1 датчик на 25 л).

Результаты проведенных исследований свидетельствуют об улучшении структуры и эксплуатационных характеристик цементных материалов при использовании воды, обработанной акустическим полем.

### Список литературы

1. Промтов М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества. М.: Машиностроение-1, 2004. 136 с.
2. Маргулис М.А. Звукохимия – новая перспективная область химии высоких энергий // Химия высоких энергий. 2004. Т. 38. № 3.
3. Смородов Е.А. Динамика кавитационного пузырька в полярной жидкости // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. В. 10. С. 34–40.
4. Кардашев Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии. М.: Химия, 1990. 206 с.



## Индикатор прочности бетона Бетон-70



Индикатор прочности бетона «Бетон-70» предназначен для измерения времени распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) в строительных материалах при экспрессных определениях прочности бетона в сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделиях и конструкциях.

### Область применения:

- строящиеся и эксплуатируемые здания и сооружения
- гидротехнические сооружения
- сооружения с затрудненным двусторонним доступом к контролируемым участкам
- стройплощадки и предприятия стройиндустрии

### ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ:

- Поверхностный или сквозной режим прозвучивания.
- Нормированное усилие прижатия преобразователя при поверхностном прозвучивании.
- Возможность измерения времени или скорости распространения УЗК при поверхностном прозвучивании.
- Возможность статистической обработки полученных результатов измерения времени или скорости распространения УЗК.
- Возможность выявления трещин, пустот и других нарушений сплошности в строительных материалах: бетоне и железобетоне, силикатном и керамическом кирпиче, мраморе, граните и т.п.

- Возможность контроля материалов с большим затуханием УЗК.
- Возможность использования удлиненных соединительных кабелей для увеличения диапазона прозвучивания.
- Графический многофункциональный дисплей.
- Встроенное аккумуляторное питание.
- Индикация степени разряда встроенной аккумуляторной батареи.
- Маслостойкая пленочная клавиатура.
- Прочный алюминиевый корпус для тяжелых условий эксплуатации.
- Малые габариты.

### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- Диапазон измерения времени распространения УЗК .....15–6500 мкс
- Абсолютная погрешность измерения .....(0,1 + 0,01 T) мкс
- Рабочая частота преобразователя .....60 кГц
- База при поверхностном прозвучивании .....120 мм
- Продолжительность непрерывной работы, не менее .....20 ч
- Масса электронного блока, не более .....0,7 кг
- Габаритные размеры электронного блока, не более .....170×55×86 мм

Цена – 49560 руб. с учетом НДС.

НПК «ЛУЧ», 143930, Московская область, г. Балашиха, мкр-н Салтыковка, ш. Ильича, д. 1

Тел./факс: (495) 22-99-600 (многоканальный) <http://www.luch.ru> e-mail: [luch@luch.ru](mailto:luch@luch.ru)

18 – 20 ноября 2008

# РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

190068, Россия, Санкт-Петербург, а/я 597  
Москва: +7 (495) 580 54 36  
СПб: +7 (812) 380 65 72  
703 71 85, 335 09 92  
e-mail: info@dry-mix.ru

**EXPO***Mix*

9-ая Международная специализированная выставка  
**Сухие смеси, бетоны и растворы**

*Mix***BUILD**

10-ая Международная научно-техническая конференция  
**Современные технологии сухих смесей в строительстве**

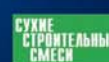
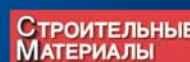
**Техно**  
*строй*

4-й Московский международный фестиваль  
**Строительные материалы и технологии**

Генеральный спонсор:

**EURO**  
**CEMENT**  
ЕВРОЦЕМЕНТ груп

Организаторы: Академический научно-технический центр «Алит», Международное аналитическое обозрение «ALIT inform». При поддержке: Государственной думы РФ, Министерства регионального развития РФ, Федерального агентства по строительству и ЖКХ РФ, Правительства Москвы, Правительства Московской области. Информационная поддержка: журнал «Строительные Материалы», журнал «Сухие строительные смеси»





А.В. ХВАСТУНОВ, инженер,  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

## Повышение эксплуатационных свойств бетонных плит различного назначения

В настоящее время в отечественной строительной отрасли, а также за рубежом проявляется огромный интерес к исследованиям, связанным с улучшением качественных характеристик самого распространенного универсального и функционального материала — бетона. Мировой опыт свидетельствует, что для современных зданий и сооружений нужен бетон с универсальными характеристиками, прежде всего с прочностью при сжатии в пределах 35–200 МПа, с высокой прочностью при растяжении, продавливании, трещиностойкостью, ударной вязкостью и длительной долговечностью, особенно в сложных условиях эксплуатации. Как показали теоретические исследования в области строительного материаловедения, а также практические результаты предлагаемых решений, в настоящее время значительных успехов в совершенствовании качественных характеристик бетона и повышения его конкурентоспособности по сравнению с другими конструктивными композиционными материалами можно добиться при условии внедрения в практику строительства многокомпонентных (5–8-компонентных) бетонов многофункционального назначения.

В связи с появлением многокомпонентных бетонов нужен системный подход к выбору его компонентов, учитывающий их химический, минералогический, гранулометрический состав, а также вклад каждого компонента при решении многофункциональной задачи, связанной с выбором вяжущего, подготовкой исходных компонентов, их измельчением, последовательностью введения компонентов в смесь, перемешиванием, формованием, тепловой обработкой и т. д. [1–3].

Как показала практика, относительно низкая прочность бетона марок 200–400 на основе 4-компонентных бетонных смесей в ряде случаев, например при изготовлении плит перекрытий методом экструзии, является недостаточной. При производстве таких плит вместо традиционной преднапряженной стержневой арматуры применяют высокопрочную предварительно напряженную проволочную арматуру. Низкая прочность бетона является причиной выпуска бракованной продукции из-за проскальзывания тонкой арматуры в объеме бетона в момент отпуска предварительного напряжения.

Исследования показали, что причиной этого является не только низкая прочность бетона, но и нарушения технологии изготовления высокопрочной проволоки  $\varnothing 5$  мм Вр 1400-2, в частности малая глубина вмятин на ее поверхности.

Уменьшение глубины вмятин на 20% приводит к снижению прочности сцепления такой арматуры с бетоном на 40–60%. В подобном случае необходимо повышать марочную прочность бетона, в основном введением дополнительного количества портландцемента, снижением расхода воды за счет пластифицирующих добавок, введением минеральных добавок, подбором оптимального гранулометрического состава крупного и мелкого заполнителя, введением в состав бетона стальных и полимерных волокон. Особенно актуально применение фибробетона в каркасно-монолитном строительстве в связи с возникающими большими напряжениями среза в узлах пересечения колонн с плитами перекрытий.

Для оценки эффективности применения обычного и модифицированного тяжелого бетона марки 350–450, а также керамзитобетона марки 300 в узлах сопряжения диска плоского безбалочного перекрытия с колонной были изготовлены железобетонные плиты размером 600×600×90 мм из различных видов бетона: 1 — тяжелый, класс прочности В30; 2 — легкий, класс В25; 3 — сталефибробетон (СФБ), класс В35 (0,6% армирования); 4 — СФБ, класс В35 (0,8% армирования); 5 — СФБ, класс В35 (1,2% армирования).

Плиты армировали вязаной сеткой из арматуры  $\varnothing 10$  мм А-Ш. Стержни сетки имели отгибы для надежной анкеровки в теле плиты. Для определения прочностных и деформационных характеристик бетона были изготовлены контрольные образцы-призмы 100×100×400 мм, образцы-восьмерки 70×70×280 мм и стандартные образцы-кубы с ребром 100 мм, которые через 2, 7, 14 и 28 сут испытывали на сжатие для определения скорости набора прочности бетона. Через 28 сут были испытаны образцы-восьмерки и призмы с определением продольных и поперечных деформаций, модуля упругости, коэффициента Пуассона, границ трещинообразования.

Для испытания железобетонных плит на продавливание была собрана специальная установка, представляющая собой замкнутую силовую рамку из двух усиленных двутавров I-60 длиной 1 м, четырех стальных шпилек  $\varnothing 50$  мм с резьбой и опорной рамки под образец из швеллера № 16 (рис. 1).

Плиты, опертые по контуру, загружали гидравлическим домкратом грузоподъемностью 100 т, через квадратный в плане штамп со стороной 200 мм из листовой стали толщиной 20 мм.

В таблице приведены основные физико-механические свойства различных видов бетонов, из которых следует, что введением пластифицирующей добавки и стальных волокон в бетонную смесь можно значительно регулировать прочностные и деформационные характеристики модифицированных бетонов.

Как следует из таблицы, введение стальных волокон в количестве 0,6; 0,8 и 1,2 об.% в бетонную смесь увеличивает прочность при сжатии и при растяжении на 60%, предельные деформации на 35%, коэффициент Пуассона на 50%. Уровень трещинообразования в тяжелых бетонах с содержанием 0,8–1,2 об.% волнистой стальной фибры диаметром 0,3 мм и длиной 15 мм повысился на 30%.

Выявленные улучшения прочностных и деформационных характеристик многокомпонентных тяжелых и легких бетонов подтвердили при испытании плиты на продавливание (рис. 1). Несущая способность плиты из тяжелого бетона с содержанием стальной фибры возросла на 36%. Керамзитобетон даже относительно невысокой прочности из-за специфических особенностей контактной зоны керамзита с цементно-песчаным раствором также показал его хорошую способность в работе конструкции на продавливание. При понижении прочности при сжатии на 20% относительно прочности тяжелого бетона продавливающая сила на керамзитобетонную плиту снизилась лишь на 10%.



Рис. 1. Общий вид испытания железобетонных плит на продавливание

Высокая эффективность дисперсно-армированного бетона хорошо подтвердилась в производственных условиях при изготовлении серии дорожных плит стенового безопалубочного формования ПДНС 1.2-60-0.14 по ГОСТ 21924.0–84 «Плиты железобетонные для покрытий городских дорог. Технические условия», две из которых (№ 928 и № 933) были испытаны.

Плиты № 928 и № 933 были изготовлены из бетонной смеси, включающей цемент марки ПЦ500Д0, щебень известняковый фракции 5–20 мм Ивантевского карьера марки 1200, песок кварцевый Терновского карьера с модулем крупности  $M_{кр}=1,67$ , суперпластификатор С-3, фибру металлическую длиной 20 мм, толщиной 0,3 мм и воду.

В качестве арматуры в продольном направлении использовали проволочную арматуру класса Вр-II  $\varnothing 5$  мм.

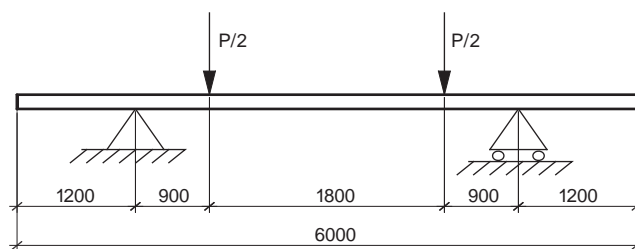


Рис. 2. Схема испытания дорожной плиты

Напряжение напрягаемой проволочной арматуры осуществляли механическим способом. Значения напряжения в напрягаемой арматуре составляли 700–900 МПа. Расход металлической фибры в плите № 928 составлял 75 кг/м<sup>3</sup>, а в плите № 933 – 50 кг/м<sup>3</sup>. Распределение фибры в бетонной смеси осуществляли в двухвальном смесителе объемом 1 м<sup>3</sup> введением малыми порциями в сухую смесь при перемешивании.

Режим тепловой обработки дорожных плит: температура изотермического прогрева не превышала 70°C, относительная влажность среды 95–98%.

Фактическая прочность дисперсно-армированного бетона дорожной плиты № 928 на момент испытания составляла  $R_{бсж}=47,5$  МПа, плиты № 933 –  $R_{бсж}=44,6$  МПа, плотность бетона 2350 кг/м<sup>3</sup>. Расчетная масса каждой дорожной плиты составила 2,5 т.

Испытания плит ПДНС 60-12-014 № 928 и № 933 на прочность и трещиностойкость проводили по схеме, приведенной на рис. 2 согласно ГОСТ 21924.0–84. Общий вид испытания дисперсно-армированных плит на прочность и трещиностойкость приведены на рис. 3. Значения контрольной нагрузки при испытании плит на прочность и трещиностойкость принимали по ГОСТ 21924.1–84 и ГОСТ 21924.2–84 с учетом напряжения в напрягаемой арматуре и ширины плиты. Контрольная нагрузка (без учета собственной массы плиты) при испытании на прочность составила 5 т, на трещиностойкость – 2,73 т.

Нагрузку на каждую дорожную плиту при испытании прикладывали бетонными блоками (рис. 3) поэтапно с длительной выдержкой на различных ступенях нагружения. Деформации плит измеряли индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Дополнительно измеряли соответствующий прогиб плит металлической линейкой с ценой деления 1 мм при нагрузках, близких к разрушающим или превышающим их в несколько раз. Появление трещин на боковой и нижней поверхностях плиты фиксировали визуально и с помощью отчетного

Характеристика бетона	Содержание стальной фибры, об. %	Кубиковая прочность, МПа	Призменная прочность на 28 сут, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Предельные продольные деформации при сжатии $\varepsilon_1$ , мм/мм	Предельные поперечные деформации при сжатии $\varepsilon_2$ , мм/мм	Модуль упругости при 0,3R <sub>пр</sub> , МПа	Продавливающая сила, т	Коэффициент Пуассона при 0,3R <sub>пр</sub> , МПа	Граница трещинообразования $\sigma/R_{пр}$
Тяжелый бетон класс В30	0	40,6	36	2,7	1,17	0,52	41200	27	0,18	0,75
Керамзитобетон класс В25	0	32,6	28	1,6	1,88	0,6	20890	24	0,16	0,89
Сталефибробетон класс В35	0,6	50,7	32,2	3,14	1,32	0,67	38462	30	0,19	0,81
Сталефибробетон класс В35	0,8	46	40	3,6	1,5	0,39	42403	34,5	0,24	0,97
Сталефибробетон класс В35	1,2	61	42,7	4,26	1,56	0,63	46000	36,8	0,27	0,87



Рис. 3. Общий вид испытания дорожной дисперсно-армированной плиты

микроскопа типа МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм. Результаты испытания показали, что при нагрузке 2,73 т (величина контрольной нагрузки при испытании плиты на трещиностойкость) прогиб дисперсно-армированных плит составил 2,4–2,7 мм без появления микротрещин как в нижней зоне плиты, так и на ее боковых поверхностях. При нагрузке 5 т (величина контрольной нагрузки при испытании плиты на прочность) прогиб плит составил 4,5–5,5 мм без появления микротрещин в плите. Длительное выдерживание дорожных плит под нагрузкой 9,6 т (прогиб 7–8 мм) также не выявило появления микротрещин на поверхностях испытываемых плит. Следовательно, по показателям прочности и трещиностойкости дорожные плиты ПДНС 60-12-014

№ 928 и ПДНС 60-12-014 № 933 имеют многократный запас по контролируемым параметрам, отражающий высокое качество дорожных дисперсно-армированных плит стенового безопаубочного формования.

Результаты испытания показали, что железобетонные предварительно напряженные дорожные дисперсно-армированные плиты ПДНС 60-12-014 № 928 и ПДНС 60-12-014 № 933 стенового безопаубочного формования, изготовленные из тяжелого бетона, можно рекомендовать для устройства сборных покрытий постоянных дорог под автомобильную нагрузку Н-30. Для выявления долговечности и особенностей поведения этих плит в эксплуатационных условиях был устроен опытный участок дороги, по которому осуществляется интенсивное движение тяжелой техники (массой 30–40 т). Эксплуатация этого опытного участка дороги показала высокую эффективность дорожных дисперсно-армированных плит безопаубочного формования.

**Список литературы**

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: Изд-во АСВ, 2004. 560 с.
2. РТМ-17-03–2005. Руководящие технические материалы по проектированию, изготовлению и применению конструкций на фибре из стальной проволоки. М.: ФГУП НИЦ Строительство НИИЖБ, 2005.
3. Хвастунов А.В., Хвастунов В.Л. Высококачественные и конкурентоспособные изделия и конструкции на основе дисперсно-армированных бетонов. Эффективные строительные конструкции: теория и практика: Сб. статей VII Межд. научн.-техн. конф. Пенза: Приволжский дом знаний, 2008. С. 30–33.

**45-летний опыт успешной работы**



**Открытое акционерное общество  
со 100% государственным капиталом  
«Конструкторско-технологическое бюро  
бетона и железобетона»  
(ОАО «КТБ ЖБ»)**

**ОАО «КТБ ЖБ»**  
109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д. 6.  
(495)171-0901/171-6410  
www.ktbbeton.ru ktb@ktbbeton.ru

• Научно-техническое сопровождение и мониторинг большепролетных, высотных и других зданий с оценкой надежности конструктивных решений и проверкой технического состояния строительных конструкций

• Строительное проектирование и конструирование зданий и сооружений, в т. ч. разработка предложений по усилению конструкций, реконструкции, капитальному ремонту. Экспертиза проектной продукции. Жилые и административные здания. Торговые комплексы. Коттеджи. Гаражи.

• Обследование технического состояния зданий и сооружений.  
– Диагностика зданий и сооружений. Оценка физического износа здания.  
– Усиление строительных конструкций.  
– Контроль качества строительно-монтажных работ.  
– Мониторинг зданий и сооружений.  
– Определение в лабораторных условиях прочности раствора и бетона по пробам, отобраным из конструкций.

• Строительство и реконструкция зданий и сооружений. Перепланировка. Капремонт (выполнение любого этапа общестроительных работ: фундамент, ограждающие конструкции, кровля, облицовка фасадов, отделка). Выполнение функций технического надзора.

• Инженерно-геологические изыскания. Выполнение комплекса работ по определению физико-механических свойств грунтов (полевые и лабораторные исследования грунтов).

• Сертификация. Проведение сертификационных испытаний и оформление сертификатов на конструкции, материалы и услуги.

Реклама

Т.В. ЩУКИНА, канд. тех. наук,  
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

## Повышение энергоактивности гелиотермообработки строительных изделий

Возможность использования солнечной энергии для термообработки строительных изделий при их производстве рассматривалась и подтверждалась в основном для южных регионов РФ и СНГ [1]. Чтобы проверить и доказать возможность проведения гелиотермообработки производимых строительных изделий в условиях средней полосы России, рассмотрим способы ее осуществления.

Термообработка бетона под воздействием прямой и диффузионной солнечной радиации более эффективна, чем его нагревание воздушной средой или при помощи промежуточного теплоносителя в различных системах солнечного теплоснабжения, так как в первом случае твердеющая структура выполняет непосредственно функции гелиоприемника.

Ускоренное твердение бетонов под непосредственным воздействием солнечной радиации предполагает следующие способы его осуществления [2]:

- применение пленкообразующих составов, обеспечивающих одновременно влагозащиту свежесуложенного бетона и эффективное поглощение им солнечной радиации в сочетании с последующим термическим выдерживанием, используемым для аккумуляции тепла в ночное время суток;
- использование гелиоформ с аккумулирующими бортами и поддонами;
- обустройство светопрозрачными ограждениями, выполняющими в том числе функции теплоизоляционных материалов;
- выполнение гелиокамер малых объемов с эффективной теплоизоляцией корпуса с герметичными подвижными светопрозрачными ограждениями.

Применение пленкообразующих составов при гелиотермообработке бетонов не предполагает каких-либо затрат на дополнительное обустройство и ограждение опалубки, заполненной материалом. Вследствие этого он является наиболее экономичным. Но при открытой поверхности бетона из-за разности парциального давления водяных паров при повышении ее температуры относительно окружающей среды начинает активно испаряться вода затворения. Обезвоживание приводит к значительной величине пластической усадки, которая нарушает формирующуюся структуру бетона, существенно ухудшая его основные физико-механические свойства [2, 3].

Одним из наиболее простых и эффективных способов ускоренного твердения бетона с использованием солнечной энергии, нашедшим довольно широкое практическое применение, является тепловая обработка изделий в гелиоформах со светопрозрачным теплоизолирующим покрытием. Сущность его заключается в том, что каждое

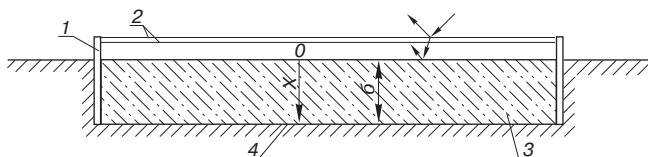
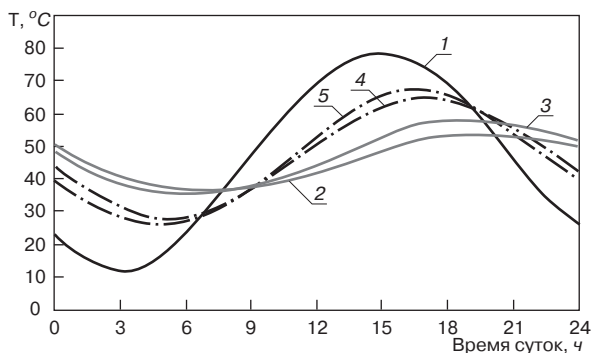


Рис. 1. Схема плоского солнечного коллектора: 1 – корпус коллектора; 2 – двойное спаренное остекление; 3 – изделие, подвергаемое термообработке; 4 – грунт

прогреваемое в форме изделие рассматривается как своеобразный гелиоприемник, в котором бетон выполняет роль поглощающего и аккумулирующего элемента, металлическая форма является корпусом устройства, а дополнительное покрытие представляет собой наружное ограждение со специально подобранными светотехническими и теплотехническими параметрами, обеспечивающими его светопрозрачность. Минимальные затраты в этом случае будут, если при непосредственном нагревании твердеющей структуры применять полимерные пленки, укладывая их на неопалубочную поверхность. Для создания более высокого температурного режима необходимо обустройство полигонов с гелиоформами, включающими два основных элемента: деревянный, железобетонный или чаще металлический корпус и покрытие, представляющее собой конструкцию из нескольких слоев светопрозрачного материала с организованными воздушными прослойками между ними, параметры которого должны обеспечивать, с одной стороны, максимальное использование солнечной энергии для прогрева бетона, с другой – аккумуляцию тепла в изделии для ночного времени суток [4].

Для реализации эффективной гелиообработки требуется создание герметичной воздушной прослойки определенных размеров между гелиопокрытием и свежесуложенным бетоном, параметры которой определяются как с позиций формирования физической структуры бетона, так и по теплофизическим критериям. При организации воздушной прослойки над свежесуложенным бетоном создается замкнутая среда, полностью насыщаемая при гелиотермообработке водяными парами и обеспечивающая благоприятные условия твердения бетона, которые характеризуются высокой относительной влажностью [2, 3]. Такая среда создается за счет частичного испарения влаги из бетона (до 4–5% воды затворения) во время начального прогрева. Дальнейшего испарения воды из бетона в насыщенный парогазовую смесь практически уже не происходит [3]. Кроме того, создание воздушной прослойки над поверхностью свежесуложенного материала обеспечивает сохранение оптических характеристик применяемых светопрозрачных ограждений из-за отсутствия непосредственного контакта с нагреваемым бетоном, более полное проявление парникового эффекта при применении многослойных остеклений, дополнительную тепловую изоляцию, способствующую повышению температуры поверхности бетона в период действия солнечной радиации и снижению темпов остывания изделий ночью, значительное повышение долговечности светопрозрачных материалов и получение высокого качества воспринимающей излучение поверхности при изготовлении изделия.

Рассмотрим возникающие температурные режимы в строительном изделии, нагреваемом за счет солнечного излучения. Для этого поместим железобетонную плиту под светопрозрачное ограждение. Конструкция коллектора (рис. 1) в этом случае предполагает незначительные затраты на его обустройство, которые в основном будут израсходованы на выполнение остекления раздвижным, что впоследствии обеспечит беспрепятственную загрузку и выгрузку деталей.



**Рис. 2.** Изменение температуры строительного изделия, подвергнутого термообработке: 1 – на тепловоспринимающей поверхности железобетонной плиты; 2, 3 – на поверхности, лежащей на грунтовом основании при толщине железобетонной плиты 0,16 и 0,12 м; 4, 5 – в центральном сечении железобетонной плиты при толщине 0,16 и 0,12 м, то есть при  $x=0,08$  м и  $x=0,06$  м

Гелиотермообработка стандартного железобетонного изделия сплошного сечения, длина которого может достигать 6,6 м, ширина 3 м, толщина 0,13–0,16 м, предполагает поиск решения нестационарного уравнения теплопроводности, записанного в следующем виде [5]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $T$  – температура элемента, помещенного в коллектор, °С;  $\tau$  – время, с;  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.

Для изучения температурного режима, возникающего в строительном изделии, размещенном в полости коллектора, целесообразно начало координат поместить на его верхнюю поверхность, подвергаемую воздействию солнечной радиации, и переписать уравнение теплопроводности в такой форме:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где  $\theta$  – разность температур между переменной  $T$  и некоторой средней величиной на поверхности, воспринимающей тепловой поток  $T_0$ , относительно которой происходит колебание этого параметра в железобетонной плите, подвергаемой термообработке.

Так как в нижней части корпуса отсутствует изоляция, нагреваемый материал представляет собой полуограниченный массив и решением уравнения (2) будет являться следующее выражение [4, 5]:

$$\theta = C \cdot e^{-\sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} \cdot x} \cdot \cos\left(2\pi \frac{\tau}{\tau_0} - \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} \cdot x\right), \quad (3)$$

где  $\tau_0$  – продолжительность полного периода колебания температуры, с;  $C$  – постоянная интегрирования, которую можно найти из граничного условия:

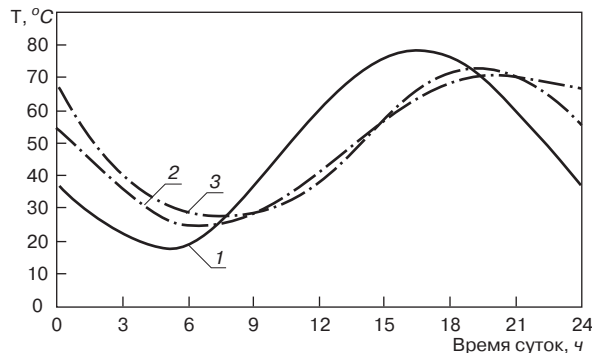
$$q_s = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности подвергаемого термообработке элемента, Вт/(м·°С).

В уравнение (4) входит плотность теплового потока  $q_s$ , поступающего сквозь остекление коллектора от солнечного излучения на поверхность железобетонной плиты, которая может быть с достаточной точностью аппроксимирована функцией:

$$q_s = \eta_0 \cdot q_s^{\max} \cdot \sin\left(\varphi_0 + 2\pi \frac{\tau}{\tau_0}\right), \quad (5)$$

где  $\eta_0$  – оптический КПД плоского коллектора, кото-



**Рис. 3.** Изменение температуры строительного изделия, подвергнутого гелиотермообработке в коллекторе с теплоизоляцией корпуса: 1 – на тепловоспринимающей поверхности железобетонной плиты; 2 – на поверхности, лежащей на корпусе коллектора при толщине изделия 0,16 м; 3 – в центральном сечении железобетонной плиты, т. е. при  $x=0,08$  м

рый для данной конструкции устройства с двухслойным остеклением принимается равным 0,65–0,8 [6];  $q_s^{\max}$  – максимальная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>, [7];  $\varphi_0$  – величина, соответствующая начальной фазе колебания, рад.

Положительные значения плотности теплового потока  $q_s$  соответствуют дневному времени, отрицательные относятся к потерям теплоты в ночные часы.

После проведения несложных математических преобразований определим постоянную  $C$ :

$$C = \frac{\eta_0 \cdot q_s^{\max}}{\sqrt{\frac{2\pi\lambda c\rho}{\tau_0}}}, \quad (6)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость подвергаемого гелиотермообработке элемента, Дж/(кг·°С);  $\rho$  – плотность железобетонного изделия, кг/м<sup>3</sup>.

Так как размерность  $C$  соответствует температуре, а в выражение (6) входит максимальная плотность теплового потока, поступающего за счет солнечной радиации, данная величина является амплитудой изменения температур на поверхности железобетонной плиты и равна  $\theta_{\max}$ .

Протекание гелиотермообработки зависит от времени суток, поэтому целесообразно перейти к астрономическому его исчислению при определении плотности теплового потока на поверхности железобетонной плиты, а также температурного режима последней. Тогда выражение (5) запишем, учитывая возрастание солнечной радиации до 12 ч, при продолжительности полного периода колебаний, равной 24 ч:

$$q_s = \eta_0 \cdot q_s^{\max} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{12}(\tau_a - 15)\right), \quad (7)$$

где  $\tau_a$  – астрономическое время, ч.

При этом зависимость температуры от времени и координаты  $x$  примет вид:

$$\theta = \theta_{\max} \cdot e^{-\sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} \cdot x} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{12}(\tau_a - 15) - \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} \cdot x\right), \quad (8)$$

где  $\theta_{\max}$  – максимальная амплитуда температуры на поверхности подвергаемого термообработке элемента  $\theta_{\max} = T_{\max} - T_0$ , определяемая по формуле (6).

Если рассматривать изменения температурного режима на поверхности железобетонной плиты под остеклением теплового коллектора, то решение (8) запишется в следующей форме:

$$\theta = \theta_{\max} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{12}(\tau_a - 15)\right). \quad (9)$$

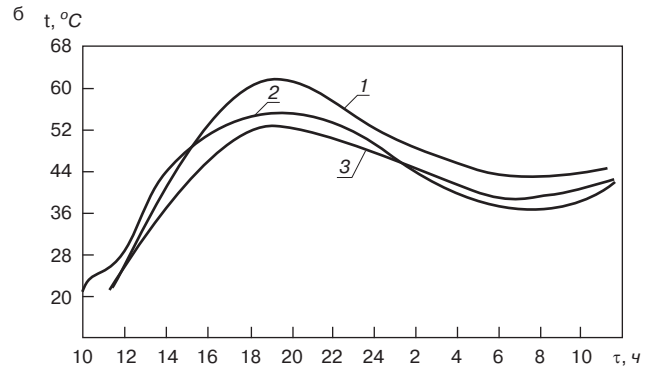
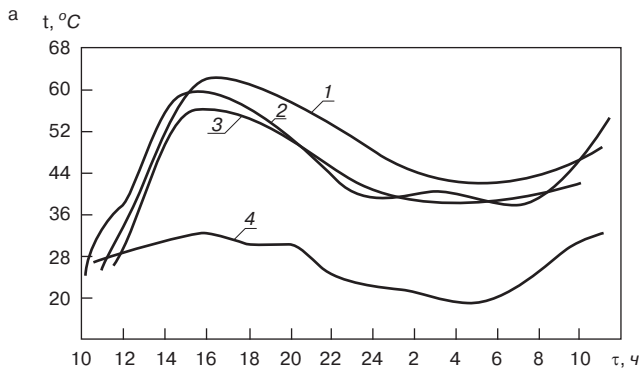


Рис. 4. Кинетика прогрева бетона с различным количеством воды затворения ( $V/C = 0,54$ ) при гелиотермообработке: а – в 5 мм от верхней поверхности блока размером  $40 \times 40 \times 15$  см; б – в центре блока; 1 –  $V = 211$  л/м<sup>3</sup> (подвижность смеси О.К. = 6–7 см); 2 –  $V = 190$  л/м<sup>3</sup> (О.К. = 2–3 см); 3 –  $V = 160$  л/м<sup>3</sup> (жесткость 30–40 с); 4 – температура окружающей среды

Уравнение (9) показывает, что температура элемента при гелиотермообработке достигает максимальных значений в 15 ч в отличие от солнечной радиации, поступление которой особенно интенсивно в 12 ч.

Воспользуемся полученными зависимостями для прогнозирования температурного режима гелиотермообработки железобетонной плиты сплошного сечения, проводимой в климатических условиях Воронежской области [7]. Для описанного выше солнечного теплового коллектора (рис. 1) максимальная температура помещенного в него элемента, как показали расчеты, проведенные по методике [6], достигает  $78^\circ\text{C}$  в июле при средней температуре наружного воздуха  $20^\circ\text{C}$ . Тогда максимальная амплитуда температуры на поверхности строительного изделия, определяемая по формуле (9), при следующих теплофизических параметрах с учетом повышенной влажности материала  $\lambda = 2,1$  Вт/(м·°C),  $c = 1,09$  кДж/(кг·°C),  $\rho = 2000$  кг/м<sup>3</sup>, составит  $32,7^\circ\text{C}$ . На основании перечисленных данных и выражений (8), (9) был выполнен расчет, результаты которого представлены на рис. 2. На графике показано, что вначале, то есть до 5 ч утра, строительное изделие теряет теплоту, полученную в световое время предыдущего дня, а затем начинается интенсивное его прогревание, способствующее быстрому набору прочности материала.

Изменения температуры (рис. 2) на тепловоспринимающей поверхности железобетонной плиты и на ее поверхности, лежащей на грунтовом основании, позволяют сделать вывод о возможности использования в летние месяцы для гелиотермообработки даже такой простой конструкции теплового коллектора. Чтобы получить более высокие параметры теплового процесса и увеличить сезон использования энергии солнца, целесообразно применять коллекторы с высококачественной изоляцией корпуса, в том числе и его жесткого основания, образующего дно устройства. Кроме того, следует использовать двойное остекление с заполнением инертным газом межстекольного пространства, имеющее светопрозрачное теплоизолирующее покрытие. В этом случае будет обеспечена равномерность прогрева изделия по его высоте, что в конечном итоге вызовет уменьшение амплитуды колебаний при повышении температуры в целом и сократит продолжительность периода набора прочности.

Рассмотрим температурный режим, возникающий в железобетонной плите сплошного сечения, помещенной в коллектор с высокоэффективной тепловой изоляцией корпуса. Устройство может иметь раздвижное светопрозрачное ограждение для загрузки и выгрузки строительных изделий, выполненное двойным и спаренным с заполнением инертным газом между листами. Конструкция остекления должна обеспечивать герметичность укрытия строительных изделий.

Для изучения температурного режима, возникающего в строительных изделиях при выполнении эффективной изоляции корпуса устройства, воспользуемся урав-

нением теплопроводности пластины (2). При этом граничные условия запишутся в виде:

$$\text{при } x = 0, \quad -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = q_S; \quad (10)$$

$$\text{при } x = \delta, \quad -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = 0. \quad (11)$$

Решение уравнения (2) представим в следующем виде:

$$\theta = e^{kx} [A_1 \cos(\omega t + kx) + A_2 \sin(\omega t + kx)] + e^{-kx} [A_3 \cos(\omega t - kx) + A_4 \sin(\omega t - kx)]. \quad (12)$$

Первый член правой части выражения (12) предполагает излучение энергии в окружающую среду строительным изделием при его нагревании, второй записан с учетом поглощения теплового потока внешней поверхностью конструкции и передачи его в массив за счет теплопроводности.

Дифференцируя уравнение (12) по переменным  $t$  и  $x$  в соответствии с (2), определим постоянную  $k$ :

$$k = \sqrt{\frac{\omega}{2a}}, \quad (13)$$

где  $\omega = 2\pi/\tau$  — частота колебаний в угловом измерении;  $\tau$  — продолжительность полного периода колебаний  $\tau = 24 \cdot 3600$ , с.

Для определения постоянных, входящих в зависимость (12), воспользуемся граничными условиями (10) и (11). Так как уравнение (10) содержит тепловой поток, поступающий на поверхность строительного изделия, для его аппроксимации воспользуемся функцией вида:

$$q_S = C \cos \omega t + D \sin \omega t. \quad (14)$$

Тогда из граничного условия (10) получим:

$$k\lambda \cos \omega t (-A_1 - A_2 + A_3 + A_4) + k\lambda \sin \omega t (A_1 - A_2 - A_3 + A_4) = C \cos \omega t + D \sin \omega t. \quad (15)$$

Уравнение (15) имеет решение, если:

$$-A_1 - A_2 + A_3 + A_4 = \frac{C}{k\lambda},$$

$$A_1 - A_2 - A_3 + A_4 = \frac{D}{k\lambda}.$$

При использовании граничного условия (11) получим:  $\cos \omega t [ke^{k\delta}(A_1 + A_2)\cos k\delta + ke^{k\delta}(A_2 - A_1)\sin k\delta - ke^{-k\delta} \times (A_3 + A_4)\cos k\delta + ke^{-k\delta}(A_4 - A_3)\sin k\delta] + \sin \omega t [-ke^{-k\delta}(A_1 + A_2)\sin k\delta + ke^{k\delta}(A_2 - A_1)\cos k\delta] - \sin \omega t [ke^{-k\delta}(A_3 + A_4)\sin k\delta + ke^{-k\delta}(A_4 - A_3)\cos k\delta] = 0. \quad (16)$

Уравнение (16) имеет решение соответственно при:

$$A_1 ke^{k\delta}(\cos k\delta - \sin k\delta) + A_2 ke^{k\delta}(\cos k\delta + \sin k\delta) + A_3 ke^{-k\delta}(-\cos k\delta - \sin k\delta) + A_4 ke^{-k\delta}(\sin k\delta - \cos k\delta) = 0; \quad (17)$$

$$A_1 ke^{k\delta}(-\cos k\delta - \sin k\delta) + A_2 ke^{k\delta}(\cos k\delta - \sin k\delta) + A_3 ke^{-k\delta}(\cos k\delta - \sin k\delta) + A_4 ke^{-k\delta}(-\sin k\delta - \cos k\delta) = 0. \quad (18)$$

Таким образом, получаем систему линейных уравнений, из которой можно определить коэффициенты  $A_1, A_2, A_3, A_4$ , входящие в функцию (12).

Воспользуемся полученными зависимостями для прогнозирования температурного режима гелиотермообработки строительных изделий в коллекторах с эффективной изоляцией корпуса и в климатических условиях Воронежской области. Максимальная температура железобетонной плиты сплошного сечения, помещенной в гелиотехническое устройство, как отмечалось выше, достигает  $78^\circ\text{C}$  в июле при средней температуре наружного воздуха  $20^\circ\text{C}$ .

Тепловой поток, поступающий в июле через остекление на горизонтальную поверхность [7], можно аппроксимировать с достаточной точностью для районов  $52^\circ$  северной широты зависимостью:

$$q_s = -591,3 \cos \omega t - 87,6 \sin \omega t. \quad (19)$$

Выражение (19) записано с учетом среднего оптического КПД плоского коллектора, который для данной конструкции устройства с двухслойным остеклением находится в пределах от 0,65 до 0,8.

С помощью формул Крамера получим выражение для разности температур:

$$\theta = e^{6,144x} [4,288 \cos(\omega t + 6,144x) - 0,522 \sin(\omega t + 6,144x)] + e^{6,144x} [-15,232 \cos(\omega t - 6,144x) - 26,832 \sin(\omega t - 6,144x)].$$

Построенное по полученной зависимости распределение температуры по сечению железобетонной плиты и на ее поверхности (рис. 3) позволяет заключить, что применение изоляции в корпусе коллектора обеспечивает более высокие параметры термообработки, так как максимальная температура в толще нагреваемого материала достигает  $74-78^\circ\text{C}$ .

Если рассматривать реальные условия гелиополигонов [2, 3], то в этом случае происходит постепенный нагрев изделий, так как их твердеющая поверхность характеризуется высоким коэффициентом поглощения солнечной радиации за счет перехода в теплоту коротковолнового излучения. Однако при открытой поверхности бетона вследствие разности парциального давления водяных паров при повышении его температуры относительно окружающей среды из изделия начинает активно испаряться вода затвердения. Обезвоживание приводит к значительной по величине пластической усадке, которая нарушает формирующуюся структуру, существенно ухудшая ее основные физико-механические свойства, и служит причиной растрескивания бетона. Столь негативные сопутствующие процессы наблюдаются на гелиополигонах, оборудованных термоформами с открытой верхней неопалубочной поверхностью изделий [2, 3]. Такие же усугубляющие факторы могут проявляться и в гелиокамерах, имеющих свободное воздушное пространство значительного объема, которое поглощает перегретые водяные пары, поступающие из твердеющего бетона.

Коллекторы с многослойными светопрозрачными ограждениями (рис. 1), предназначенные для укрытия строительных изделий под тонкой воздушной прослойкой, обеспечивают прежде всего блокирование интенсивного внешнего массообмена и пласти-

ческой усадки в твердеющей структуре и, следовательно, являются надежным средством ухода за бетоном не только в условиях умеренной солнечной радиации, но и при экстремальных параметрах окружающей среды, характерных для сухого и жаркого климата [2, 3]. Показателем полного насыщения влагой воздушного зазора между изделием и светопрозрачным покрытием является образование на нижней поверхности последнего капель конденсата, свидетельствующее о достижении величины относительной влажности, близкой к 100%, и о соответствующей нейтрализации негативных физических процессов в прогреваемом материале.

Изменение температуры (рис. 4) в массиве строительных изделий, подвергаемых гелиотермообработке при укрытии светопрозрачными ограждениями [2, 3], показывает, что с увеличением жесткости смеси (со снижением количества воды и цемента) максимальная температура разогрева бетона и суммарное количество градусо-часов, полученное бетоном при твердении в гелиоформе в суточном возрасте, несколько снижаются вследствие меньшего суммарного тепловыделения цемента.

Анализ теоретических исследований и результаты натуральных испытаний (рис. 4) позволяют заключить, что зависимости (5), (7), (8), (9) с достаточной точностью описывают процессы гелиотермообработки. Прогнозируемая кинетика прогрева железобетона в укрытии с высокоэффективной тепловой изоляцией корпуса (рис. 3), подтверждает необходимость ее применения, так как в этом случае обеспечивается более высокотемпературный режим. Следует также предусматривать мероприятия по защите светопрозрачного ограждения от теплопотерь в окружающую среду, особенно в ночное время суток.

Для этой цели можно использовать стеклопакеты с низкоэмиссионным (энергосберегающим) стеклом или экранирующее теплоизоляционное средство, укрывающее гелиокамеру от внешней среды в отсутствие солнечной радиации. Тогда будет достигнута относительно большая равномерность прогрева изделия не только в структуре массива, но и по времени осуществления процесса термообработки, что в конечном итоге вызовет уменьшение амплитуды колебаний при повышении температуры в целом, а также сократит продолжительность периода набора прочности.

#### Список литературы

1. Аруова Л.Б. Гелиотехнология при производстве железобетонных изделий в Республике Казахстан // Бетон и железобетон. 2005. № 3. С. 16.
2. Темкин Е.С. Технология бетона для сухого жаркого климата с использованием солнечной энергии. М.: АСВ, 2006. 68 с.
3. Заседаев И.Б., Малинский Е.Н., Темкин Е.С. Гелиотермообработка сборного железобетона. М.: СИ, 1990. 312 с.
4. Шорин С.Н. Теплопередача. М.—Л.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1952. 339 с.
5. Шукина Т.В. Распределение температур при гелиотермообработке железобетонных изделий // Бетон и железобетон. 2005. № 1. С. 7—10.
6. Богословский В.Н., Крупнов Б.А., Сканапи А.Н. и др. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 1. Отопление / Под ред. И.Г. Староверова, Ю.И. Шиллера. М.: Стройиздат, 1990. 344 с.
7. СНиП 23-03-99\*. Строительная климатология. М.: ГУП ЦПП, 2003. 97 с.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1978. 831 с.

Е.Н. СКУРАТЕНКО, инженер, Хакасский технический институт  
(филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан, Республика Хакасия)

## Технология отделки железобетонных декоративных экранов наружных стен

Стеновая система с защитно-декоративными экранами, разработанная ОАО «Центральный научно-исследовательский институт экспериментального проектирования жилых и общественных зданий» [1], представляет собой слоистую конструкцию, имеющую четыре слоя: защитный (железобетонный экран); воздушный зазор; утеплитель (любые виды, разрешенные к применению в наружных фасадных системах); несущее основание для утеплителя (кладка из стучучных материалов – ячеисто-бетонных блоков, кирпича) (рис. 1). Защитно-декоративные экраны (рис. 2) представляют собой двухслойную конструкцию толщиной 8–10 см, состоящую из отделочного слоя (не более 2 см) и основного, несущего слоя бетона (6–8 см).

Особенность конструкции стеновой системы в том, что нет необходимости устройства сложных систем подконструкции для надежного закрепления облицовочно-защитного слоя и создания воздушной прослойки. Защитный слой (железобетонный экран) монтируется краном и закрепляется на нескольких консольных выступах плиты перекрытия, образуя между своей внутренней поверхностью и

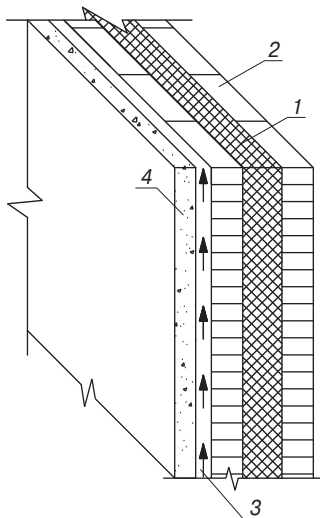


Рис. 1. Стеновая система с защитно-декоративным экраном: 1 – утеплитель; 2 – кладка из мелкоштучных материалов (блоки из ячеистого бетона или кирпич); 3 – воздушная прослойка; 4 – железобетонный экран

утепляющим слоем стены воздушный зазор, который обеспечивает вентиляцию и удаление влаги из массива стены. Оставшаяся часть стены монтируется из внутреннего пространства здания.

Размеры стен с декоративными железобетонными экранами запроектированы как на конструктивную ячейку здания, так и на полосовую разрезку. Экраны для фасадов с полосовой разрезкой позволяют достигать архитектурного эффекта. Экраны размерами на конструктивную ячейку здания могут работать как поэтажно-несущие (перераспределять часть нагрузки от плиты перекрытия на несущее основание) и служить диафрагмами жесткости здания.

Наружные стены с декоративными железобетонными экранами имеют достоинства вентилируемых фасадов: влага не накапливается в утеплителе, тем самым продлевается срок службы всей системы; точка росы находится на определенном расстоянии от внутренней поверхности, оставляя внутреннюю поверхность сухой, в результате чего стена не промерзает зимой и не перегревается летом.

Разработанная конструкция наружных стен позволяет при возведении каркасных и бескаркасных зданий сократить трудозатраты и продолжительность монтажа слоистых наружных стен; исключить стыковые соединения конструкций железобетонных экранов между собой; применять архитектурные накладные детали, увеличивающие возможности отделки фасадов; использовать разнообразные, в том числе мелкоштучные, материалы отечественного производства в слоистых наружных стенах; снизить стоимость наружных стен за счет исключения дорогостоящих элементов; выполнять операции по монтажу предлагаемых наружных стен (кроме установки экрана) из внутренних помещений строящегося здания, что позволяет проводить работы в любое время года без устройства наружных лесов.

Технология формирования железобетонных декоративных экранов не была разработана, особенно отделка внешней поверхности. Традиционные способы отделки железобетон-

ных изделий не удовлетворяют в полной мере современным требованиям потребителей. Появилась необходимость разработать технологию заводской отделки железобетонных экранов, позволяющую получать изделия с высокими прочностными, декоративными и эксплуатационными характеристиками.

Основная задача в технологии изготовления декоративных железобетонных экранов – получение качественной лицевой поверхности (гладкой и рельефной). На качество лицевой поверхности влияет несколько основных факторов: материал формы, гранулометрический состав заполнителей бетона, подвижность бетонной смеси и способ ее уплотнения.

Бетонным смесям свойственно отражать структуру поверхности формы. Для получения требуемой поверхности (категория А1 по ГОСТ 13015–2003 «Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения») при формировании изделия «лицом вниз» необходимо применение форм с высококачественной рабочей поверхностью, таких как отшлифованный металл или стеклопластик. Экономически целесообразно применять стеклопластиковые формы или металлические со стеклопластиковыми вкладышами, что позволяет получить рельефные изделия с разнообразным рисунком и высоким качеством лицевой поверхности.

При применении мелкозернистого бетона (заполнитель – речной

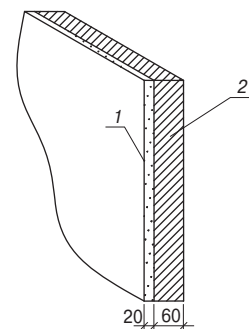


Рис. 2. Фрагмент защитно-декоративного экрана: 1 – отделочный слой; 2 – несущий слой



№ п/п	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>						Прочность, МПа	Морозостойкость, циклы
	Портландцемент М400	Песок	Щебень	Вода	С-3 (10% водный раствор)	МКУ-85		
1	350	675	1180	135	93,3	54	37	200
2	400	625	1180	180	80	28	28	200
3	450	625	1180	115	120	54	41	200

песок с  $M_{кр}=2,2$ ), для отделочного слоя важно приблизиться к непрерывной гранулометрии заполнителя.

В данной работе проведено исследование влияния факторов подвижности бетонной смеси и способов ее уплотнения на качество лицевой поверхности железобетонных изделий, которое оценивали по поверхностной пористости: на образцы  $40 \times 40$  см, изготовленных из бетонной смеси отделочного слоя, наносили зоны измерения (квадраты  $20 \times 20$  см) и внутри каждой зоны подсчитывали количество раковин различного диаметра в  $см^2/м^2$ .

При приготовлении бетонной смеси для отделочного слоя использовали следующие материалы: портландцемент белый марки 500ДО по ГОСТ 965–89 «Портландцементы белые. Технические условия»; светлый речной песок мытый средней 1-го класса с модулем крупности  $M_{кр}=2,2$  по ГОСТ 8736–93 «Песок для строительных работ»; суперпластификатор С-3 в виде раствора 10% концентрации по ТУ 6-36-0204229-625–90 «Разжижитель С-3»; микрокремнезем конденсированный МКУ-85 производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (г. Новокузнецк Кемеровской обл.) по ТУ 5743-048-02495332–96 «Микрокремнезем конденсированный».

При изготовлении образцов подвижностью П1–П4 применяли вибрационные способы уплотнения при частоте колебаний 50 Гц. Более жесткие смеси при применении различных вариантов вибрационного уплотнения не позволяют получить поверхность без пор в отличие от высокоподвижных смесей (рис. 3).

У образцов, изготовленных без вибрационного уплотнения, получены следующие данные: образцы из смеси с ОК = 2 см характеризовались поверхностной пористостью  $70 см^2/м^2$ ; при увеличении ОК с 7 до 17 см показатель пористости составлял  $18–3 см^2/м^2$  соответственно, у литых ОК = 21 см, поры на образцах отсутствовали.

Для получения изделий с лицевой поверхностью требуемого качества необходимо обеспечить бетонной

смеси подвижность ОК = 21 см и более, при этом формирования с применением вибрационного уплотнения не требуется (рис. 4). Поэтому было принято решение отказаться от вибрационного уплотнения и использовать самоуплотняющийся бетон для основного и отделочного слоев.

Отличительными особенностями самоуплотняющейся бетонной смеси является применение ультрадисперсной добавки, ограниченное содержание крупного заполнителя 50% от общего объема бетона, высокая дозировка суперпластификатора 0,8–1,2% (от массы цемента), содержание цемента около 30% по массе бетона. Низкое водоцементное отношение (0,25–0,4) обеспечивает предотвращение начальных дефектов в процессе структурообразования, высокую плотность и прочность, а также сравнительно быстрое достижение распулочной прочности [2].

Подбор состава самоуплотняющихся смесей для отделочного и основного слоев проводили исходя из заданной прочности бетона (15–41 МПа) и свойств сырьевых материалов.

При приготовлении бетонной смеси для основного слоя использовали портландцемент ПЦ400-А20, произведенный ООО «Топкинский цемент» (Кемеровская обл.) по ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»; природный песок средней 1-го класса с модулем крупности  $M_{кр}=2$  по ГОСТ 8736–93 «Песок для строительных работ»; щебень из плотных пород Ташебинского месторождения (Республика Хакасия) фр. 5–10 по ГОСТ 8257–93; суперпластификатор С-3, в виде раствора 10% концентрации и микрокремнезем.

Микрокремнезем добавлялся в количестве 8–15% от массы цемента при перемешивании сухих компонентов. Суперпластификатор С-3 вводился в бетонную смесь в виде водного раствора в количестве 1–1,2% от массы цемента. Количество цемента изменялось в пределах  $350–450 кг/м^3$ .

Характер разрушения при испытании на прочность у двухслойных

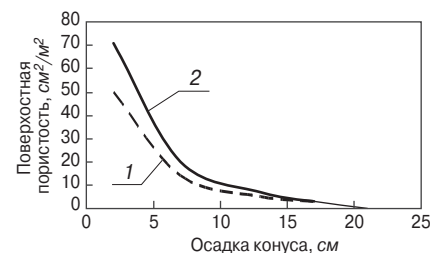


Рис. 3. Поверхностная пористость образцов разной подвижности: 1 – с применением вибрационного уплотнения; 2 – без вибрационного уплотнения

образцов (2 см – отделочный бетон, остальное тяжелый) зависит только от свойств тяжелого бетона для основного слоя. Поэтому для получения заданной прочности (от 15 до 41 МПа) подбирался состав тяжелого бетона для основного слоя экрана.

По результатам испытаний бетона на прочность можно отметить наиболее важную роль следующих компонентов состава: вода, микрокремнезем, С-3. Наибольшее повышение прочности достигается за счет уменьшения водоцементного отношения и увеличения содержания микрокремнезема и С-3 (см. таблицу).

При исследовании цветовых характеристик было необходимо определить влияние микрокремнезема, который имеет темную серо-перламутровую окраску, на цвет изделий, изготовленных из разработанных составов бетонов. Для эксперимента были изготовлены две группы круглых образцов диаметром 30 см. В составы обоих групп входили в равных количествах: белый цемент 500ДО по ГОСТ 965–89; светлый морской песок; 10% водный раствор суперпластификатора С-3; вода. В состав бетона первой группы образцов вводилась добавка 12% микрокремнезема.

Готовые образцы в возрасте 10 сут, через 1 мес, через 6 мес были оценены на отличия в цвете. Проводили визуальное сравнение образцов с расстояния 10 м и 30 см при дневном освещении. При оценке полученных результатов было установлено, что наличие микрокремнезема в составе беспиgmentного мелкозернистого модифицированного бетона на цветовые характеристики образцов не влияет.

Цветовые характеристики изделий из модифицированного мелкозернистого бетона, включающего разное количество пигментной добавки и 12% микрокремнезема сравнивали с такими же изделиями без добавки микрокремнезема.

Использовали белый цемент, светлый морской песок, 10% раствор суперпластификатора С-3, воду, пигменты марок S190 (красный) и



Рис. 4. Фрагмент образца, изготовленного в стеклопластиковой форме

S565 (зеленый). Красные и зеленые цвета были выбраны в связи с тем, что они хуже других колеров обеспечивают равномерный устойчивый цвет. Пигментная добавка вводилась в бетон в количестве 1, 2, 4% от объема цемента. В результате были получены группы образцов красного и зеленого цветов (от светлого до более насыщенных тонов), причем в каждой группе изготавливался образец с МК и такой же без него (рис. 5). Визуальное сравнение показало, что образцы с применением микрокремнезема, белого портландцемента и пигментов не отличаются от образцов того же состава без кремнезема.

Для проверки цветоустойчивости отделочных слоев к природным факторам образцы, а также две модели экрана размером 60×60×8 см хранили в течение 1,5 лет на открытом воздухе в условиях г. Абакана. Натурные наблюдения за образцами не выявили изменения цвета и образования высолов, усадочные трещины и другие дефекты отсутствовали.

Проведенные исследования подтвердили, что для получения бездефектных лицевых поверхностей отделочных слоев железобетонных экранов, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, целесообразно применение модифицированных самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов.

При формировании двухслойных изделий из высокоподвижных смесей существует проблема защиты нижнего слоя от перемешивания с

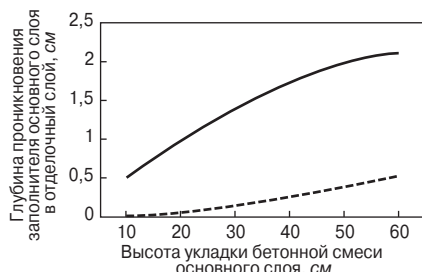


Рис. 6. Глубина проникновения крупного заполнителя основного слоя в отделочный слой: — укладка без защитной сетки; ---- укладка с защитной сеткой



Рис. 5. Образцы из бетона для отделочного слоя с микрокремнеземом (справа) и без него (слева)

верхним. Были проведены исследования по укладке бетонной смеси основного слоя в форму с уложенным отделочным слоем с разной высоты от 10 до 60 см. При укладке с высоты 10 см глубина проникновения крупного заполнителя в отделочный слой составляет 0,5 см; при укладке с высоты 20 см — до 1 см, при укладке с высоты 30 см — 1,4 см. Если смесь основного слоя укладывать с высоты более 50 см, возможен его выход на лицевую поверхность изделия.

Для защиты нижнего слоя от проникновения бетонной смеси основного слоя при укладке была применена стеклопластиковая сетка с размерами ячейки 0,5×0,5 см.

Применение стеклопластиковой сетки, втапливаемой в уложенный в форму отделочный слой, позволяет избежать проникновения крупного заполнителя в нижний слой. При укладке бетона с высоты 60 см проникновение щебня в отделочный слой составило не более 0,5 см (рис. 6).

Для выбора рациональных размеров ячейки стеклопластиковой сетки, обеспечивающей надежное сцепление отделочного и основного слоев, была определена прочность на сдвиг соединения слоев. В исследовании применили три вида сетки с размерами ячеек 0,3×0,3; 0,5×0,5 и 1×1 см. Наиболее рациональным является применение стеклопластиковой сетки с размером ячейки 0,5 см.

Подбор рациональных режимов тепловой обработки формируемых железобетонных экранов проводили по результатам экспериментальных испытаний. Первоначально проведена тепловлажностная обработка: предварительное выдерживание 2 ч; подъем температуры до 80°C — 3 ч; изотермическое выдерживание 6 ч; охлаждение в камере 2 ч. После ТВО образцы имели температурные деформации и значительное количество усадочных трещин.

В результате было принято решение отказаться от традиционных режимов ТВО и исследовать нарастание прочности образцов в мягких режимах прогрева, а также в естественных условиях твердения. При применении мягких режимов прогрева: медленный подъем темпера-

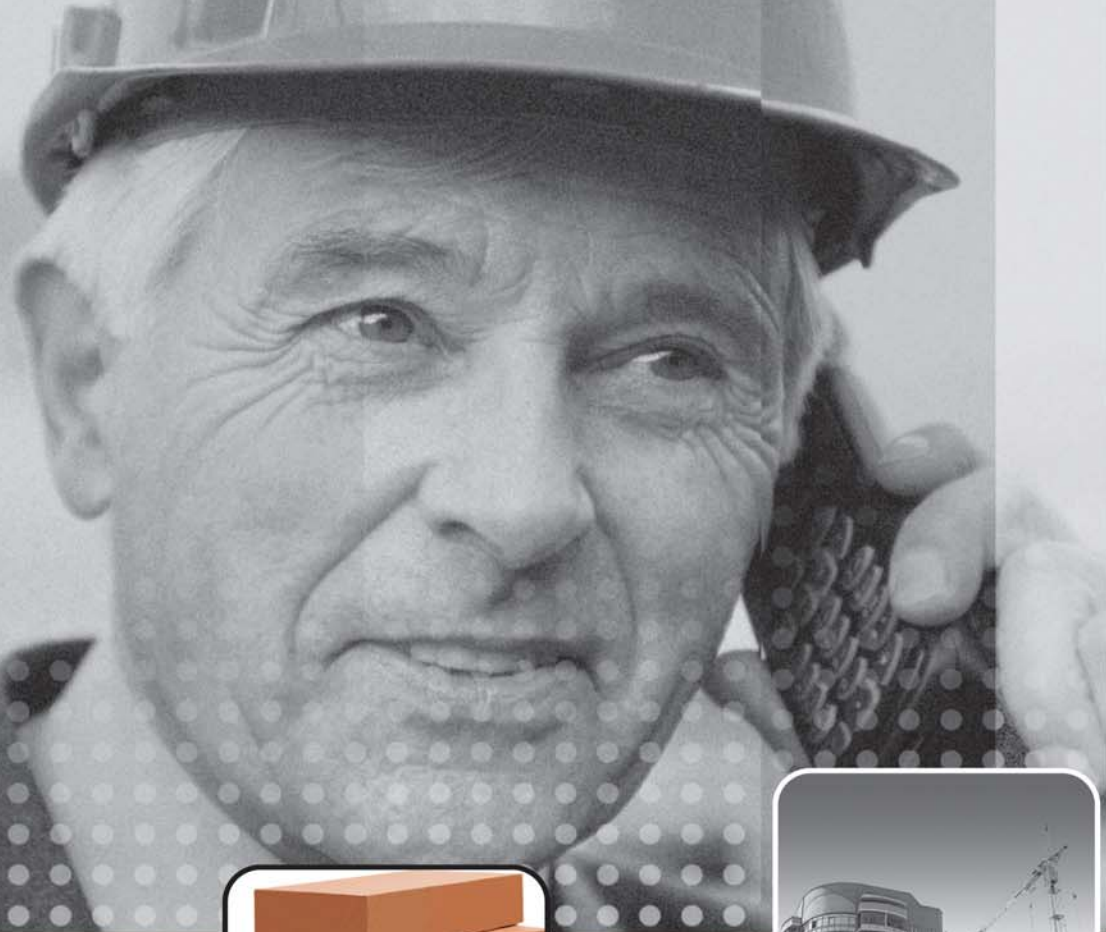
туры (15–20°C в час) и температура изотермии 40–50°C, образцы набирали 45–50% марочной прочности через 24 часа. У образцов, твердеющих в естественных условиях, скорость набора прочности в первые сутки составила 30% от марочной прочности, во вторые — 50%. Проверка этих режимов на фрагментах экранов размером 50×50 см показала, что они не влияют на декоративные качества образцов.

На основе выполненного комплекса научно-исследовательских работ разработана технологическая схема производства декоративных железобетонных экранов: приготовление бетонных смесей для отделочного и основного слоев, формование изделий, тепловая обработка, распалубка, отправка на склад готовой продукции. При формировании после укладки отделочного слоя и защитной сетки устанавливается арматурный каркас, а затем формируется основной слой.

Разработанные бетоны для отделки железобетонных экранов наружных стен позволяют получать конструкции с заданными параметрами долговечности и эстетической привлекательности. Прочность образцов при сжатии (до 40 МПа) позволяет применять экраны при заданной конструктивной схеме. Производство железобетонных экранов с цветным отделочным слоем позволит изменить архитектурную выразительность зданий, а свойства декоративного бетона точно повторять поверхность формы можно использовать при создании экранов с рельефными рисунками на поверхности.

#### Список литературы

1. Варианты фасадов жилых домов с применением наружных стеновых панелей, обеспечивающих разнообразную отделку фасадов // Альбом технических решений. М.: ЦНИИЭП жилища, 2002. 42 стр.
2. Звездов А.И., Малинина Л.А., Руденко И.Ф. Технология бетона и железобетона в вопросах и ответах. М.: НИИЖБ, 2005. С. 173–174.
3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М., 1998.



ДЕСЯТАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

# ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

# 2009

В РАМКАХ ВЫСТАВКИ



ЕЖЕГОДНЫЙ ФОРУМ «СТРОЙИНДУСТРИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ»

## 28 - 31 ЯНВАРЯ

## МОСКВА

## ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

ОРГАНИЗАТОРЫ:



Правительство Москвы (Комплекс архитектуры, строительства, развития и реконструкции города)



ЕВРОЭКСПО

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СПОНСОР:



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР:



ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА:



СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНТЕРНЕТ-ПАРТНЕР:



[WWW.OSMEXPO.RU](http://WWW.OSMEXPO.RU)

**СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО**  
**СКБ СТРОЙПРИБОР**  
**ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**



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

**ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА**

**ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03**  
 ударно-импульсный  
 автоматическая обработка измерений  
  
 диапазон 3...100 МПа

**УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С**  
 ультразвуковой  
 поверхностное и сквозное прозвучивание  
  
 частота 60...70 кГц  
 диапазон 10...2000 мкс

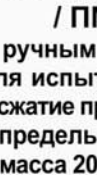
**ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д / ПОС-50МГ4 "Скол"**  
 отрыв со скалыванием и скалывание ребра  
  
 предельное усилие 60 кН  
 диапазон 5...100 МПа

**ПОС-2МГ4 П**  
 испытание прочности ячеистых бетонов  
  
 предельное усилие вырыва 2,5 кН

**Прессы испытательные малогабаритные**  
**ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4**  
 с гидравлическим приводом для испытания бетона, асфальтобетона, кирпича  
  
 ■ предельная нагрузка 100 / 500 / 1000 кН  
 ■ масса 70 / 120 / 180 кг

**ПСО-10МГ4 КЛ**  
 испытание прочности сцепления в каменной кладке  
  
 предельное усилие отрыва 15 кН

**ДИНАМОМЕТРЫ**  
**ДМС-МГ4 / ДМР-МГ4**  
 эталонные  
 сжатия / растяжения  
  
 предельная нагрузка 1...1000 кН


**ПМ-1МГ4 / ПМ-2МГ4 / ПМ-3МГ4 / ПМ-5МГ4 / ПМ-10МГ4**  
 с ручным / электрическим приводом для испытания утеплителей на изгиб и сжатие при 10% линейной деформации  
  
 ■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН  
 ■ масса 20 / 25 кг

**АДГЕЗИМЕТРЫ**  
**ПСО-МГ4**  
 испытание прочности сцепления покрытия с основанием  
  
 предельная нагрузка 1 / 2,5 / 5 / 10 кН

**ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

**ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"**  
 стационарный и зондовый режимы  
  
 диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К


**АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ**

**ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01**  
 анемометр-термометр  
  
 диапазон 0,1...20 (1...30) м/с  
 -30...+100 °С  
**ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01**  
 термогигрометр  
  
 диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С

**ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

**ИТП-МГ4.03 "Поток"**  
 3...5, 10 и 100-канальные регистраторы  
  
 диапазон 10...999 Вт/м²  
 -40...+70 °С

**ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ**

**ВЛАГОМЕР-МГ4**  
 для измерения влажности бетона, сыпучих, древесины  
  
 диапазон 1...45 %


**ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

**ТЕРМОМЕТРЫ**  
**ТМР-МГ4**  
 модульные регистрирующие для зимнего бетонирования и пропарочных камер  
  
 до 20 модулей в комплекте  
 диапазон -40...+100 / 250 °С

**ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ**

**ДО-40 / 60 / 80МГ4**  
 метод поперечной оттяжки  
  
 диапазон контролируемых усилий 2...120 кН  
 диаметр арматуры 3...12 мм

**ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА**

**ИПА-МГ4**  
 диаметр контролируемой арматуры 3...40 мм  
 диапазон измерения защитного слоя 3...140 мм  


**ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ**

**ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01**  
 зондовые / контактные 1...2-канальные  
 диапазон -40...+250 °С  


**ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ**

**ЭИН-МГ4**  
 частотный метод  
 диаметр арматуры 3...32 мм  
 диапазон 100...1800 МПа  


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

РЕКЛАМА

С.В. ПЛЫШЕВСКИЙ, канд. техн. наук, М.И. КУЗЬМЕНКОВ, д-р техн. наук,  
Е.В. МАРЧИК, инженер, Белорусский государственный  
технологический университет (Минск)

## Растворы на магнезиальном вяжущем для облицовочных работ в зимних условиях

При проведении облицовочных работ различных поверхностей природным или искусственным камнем с использованием растворов или клеев на традиционных минеральных вяжущих требуется строгое соблюдение температурного режима. Температура окружающей среды допускается в пределах 5–25 °С. Если она опускается ниже 5 °С, то облицовочные работы прекращают или применяют специальные методы их проведения: оборудуют тепляки или пользуются специальными растворами, содержащими противоморозные добавки (хлориды, нитраты, карбонаты, цитраты, формиаты, фосфаты, сульфаты, мочевины и др.) [1–4].

Недостатками первого метода являются дополнительные затраты на искусственный прогрев, усложнение технологии работ, соблюдение повышенных требований по технике безопасности; второго метода – образование высолов на облицованной поверхности, коррозия арматуры, ухудшение в ряде случаев свойств цементного камня. Причиной последнего является изменение физико-химических свойств воды, гидратационных процессов, появление новых химических соединений и формирование иной микро- и макроструктуры цементного камня. Поэтому постоянно ведутся работы по созданию более эффективных вяжущих систем, твердеющих в зимних условиях. В последнее время разработаны и рекомендуются растворы на безгипсовых вяжущих, а также на цементе, содержащем до 30% дунита [5].

Перспективными растворами для облицовочных работ являются растворы на магнезиальном вяжущем. Наряду с широко известными областями применения материалов, получаемых на основе магнезиальных вяжущих (плиты и панели для внутренней и внешней облицовки зданий, подоконные плиты, лестничные ступени, наливные полы, внутренняя и наружная штукатурка и др.), есть области применения, которые мало изучены.

Благодаря таким уникальным свойствам магнезиальных вяжущих, как способность обеспечивать безусадочность, высокую адгезию к любому материалу, в том числе к старому бетону, повышенную прочность при сжатии, изгибе, ударе, возможность достигать высокой водостойкости и морозостойкости, устойчивости к агрессивным средам, износостойкости, жаростойкости, существенно расширяется сфера применения новых материалов на их основе.

Целью данной работы было получение на основе магнезиального цемента из каустического доломита растворов для облицовки бетонных, кирпичных поверхностей гранитными плитами в зимних условиях.

Предпосылками для успешного достижения поставленной цели являются как указанные выше отличительные свойства магнезиальных цементов, так и установленная нами температура замерзания цементного теста (–37 °С).

Исследований в данном направлении в литературе не обнаружено. Имеются лишь рекомендации о том, что твердение материалов на магнезиальном вяжущем следует проводить при температуре не ниже 12 °С [6].

Изучение кинетики твердения магнезиальных вяжущих систем при более низких, а также при отрицательных температурах не проводилось.

Каустический доломит для проведения исследований получали из доломита по методике, приведенной в [7]. В качестве затворителя использовали раствор бишофита (ГОСТ 4209–77) плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup>.

Для сравнения выбраны растворы для облицовочных работ на основе портландцемента марки ПЦ500 Д0 как с противоморозной добавкой, так и без нее. В качестве противоморозной добавки использовали технический нитрат натрия (ГОСТ 19906–74), обеспечивающий незамерзание раствора до –25 °С.

Были проанализированы известные методы повышения водостойкости и морозостойкости композиций на основе магнезиальных вяжущих путем введения различных добавок [8]. За счет их применения коэффициент водостойкости композиций повышается с 0,4 до 1 и выше. Наиболее эффективными добавками, улучшающими указанные свойства, являются соединения силикатов, боратов, фосфатов.

В качестве добавки опробован отход от распиловки и шлифования гранитного камня (гранитный шлам).

Гранитный шлам содержит кварц и силикатные минералы – ортоклаз, микроклин, плагиоклазы, биотит, мусковит. Кроме того, в процессе распиловки и обработки гранита с использованием воды для охлаждения пил и абразивных инструментов образуются вторичные гидросиликаты. Гранитный шлам был использован также в качестве наполнителя магнезиального раствора.

Методика проведения исследований заключалась в приготовлении образцов растворов различного состава на магнезиальном вяжущем и портландцементе, отвержденных при положительной и отрицательной температурах, с последующим изучением физико-механических свойств и характера изменения этих свойств в процессе твердения. Для определения прочности при сжатии из растворов изготавливали образцы-кубики 20×20×20 мм, на сдвиг – образцы-пластинки из гранита 4×20×25 мм, скрепленные внахлест раствором.

Кинетика набора прочности образцов-растворов при температуре +18 и –5 °С приведена на рис. 1. Как видно из рис. 1, процесс твердения более интенсивно проходит у раствора на магнезиальном вяжущем. При отрицательной температуре твердение у рассматриваемых растворов протекает с меньшей скоростью набора прочности, причем с появлением индукционных периодов на начальной стадии твердения.

Индукционный период у раствора на портландцементе с противоморозной добавкой составляет 7 сут, у раствора на магнезиальном вяжущем – 3 сут. Через 28 сут твердения при температуре –5 °С раствор на портландцементе с противоморозной добавкой приобретает прочность при сжатии 9 МПа, раствор на магнезиальном вяжущем – 20 МПа. Это составляет примерно 50% от показателей твердения при положительной температуре. Причем

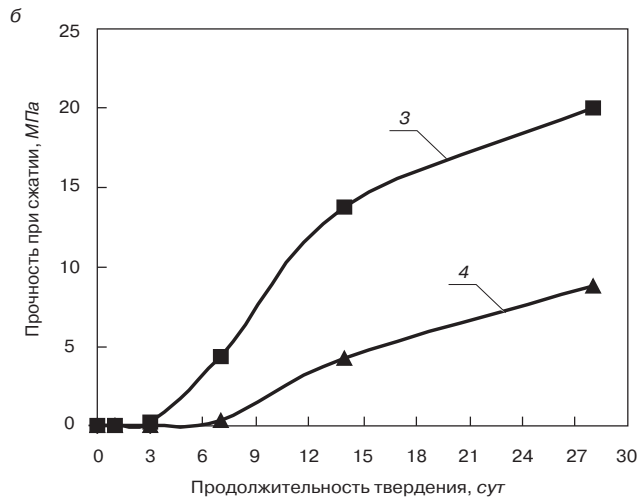
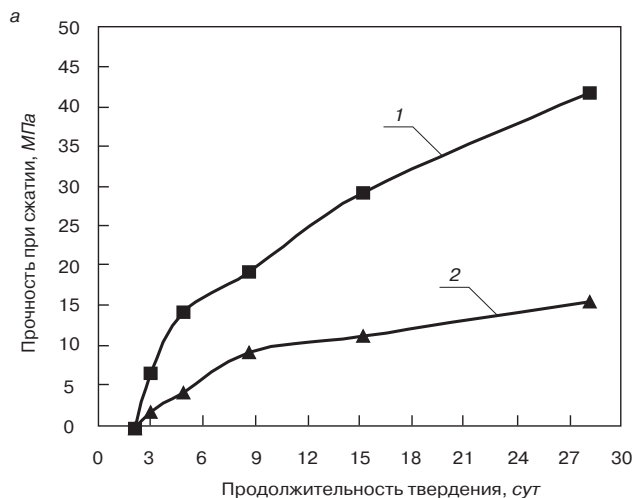


Рис. 1. Кинетика набора прочности образцов-растворов, твердеющих при температуре +18°C (а) и -5°C (б): 1 – раствор на магниальном вяжущем; 2 – раствор на основе портландцемента; 3 – раствор на магниальном вяжущем; 4 – раствор на основе портландцемента с противоморозной добавкой (5% NaNO<sub>3</sub>)

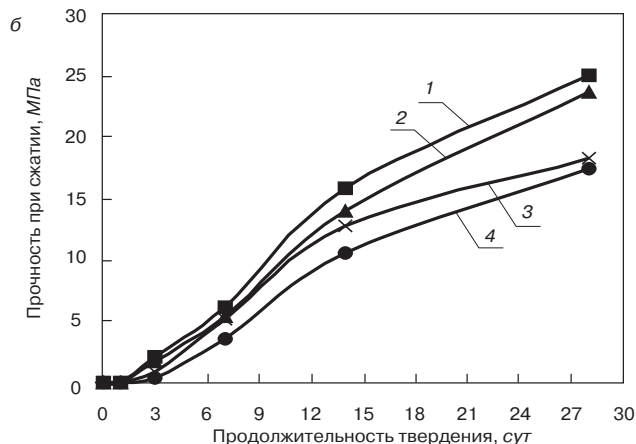
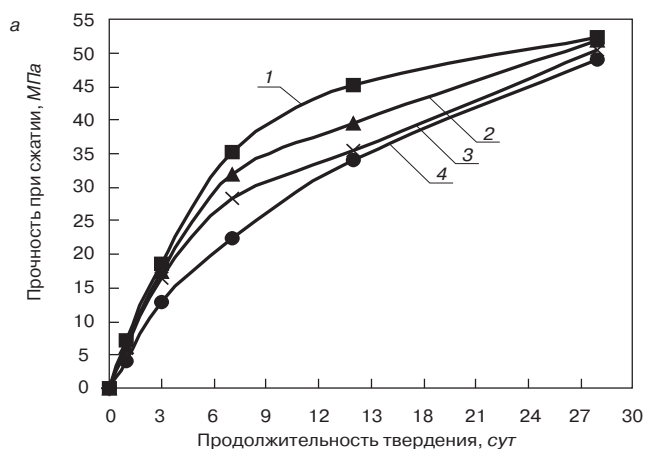


Рис. 2. Кинетика набора прочности образцов-растворов на магниальном вяжущем с гранитным шламом, твердеющих при температуре +18°C (а) и -5°C (б): 1 – 5% гранитного шлама; 2 – 10% гранитного шлама; 3 – 20% гранитного шлама; 4 – 50% гранитного шлама

более высокую прочность независимо от условий твердения имеет раствор на магниальном вяжущем.

Кинетика твердения растворов на магниальном вяжущем с гранитным шламом, используемым в качестве наполнителя и добавки, повышающей водостойкость, приведена на рис. 2. Следует обратить внимание на то, что с увеличением содержания гранитного шлама, используемого в качестве наполнителя, происходит падение прочности образцов раствора независимо от условий твердения.

Гранитный шлам ускоряет процесс твердения магниального вяжущего на начальной стадии при положительной температуре. За первые 3 сут прочность при сжатии образцов растворов достигает почти 30% от окончательной, через 7 сут – 50–70%, причем при увеличении содержания шлама более 20% темп набора прочности начинает снижаться. Окончательная прочность при сжатии образцов растворов с наполнителем – гранитным шламом (45–50 МПа) находится на уровне показателей раствора на магниальном вяжущем без наполнителя (рис. 1, а). Такое поведение гранитного шлама в составе растворов на магниальном вяжущем свидетельствует о его активном участии в процессах взаимодействия каустического доломита с бишофитом и в образовании новых соединений. По данным рентгенофазового анализа, в магниальных растворах кроме пентагидроксихлорида магния установлены и другие фазы, которые ввиду сложного состава раствора не удалось идентифицировать. Однако согласно данным [9] можно предположить присут-

ствие в новообразованиях модифицированного тригидроксихлорида магния, сросшегося с силикатными минералами, и наличие аморфных фаз.

Гранитный шлам в составе магниальных растворов при твердении при отрицательной температуре несколько сокращает длительность индукционного периода и весьма существенно (в 5–7 раз) снижает темп набора прочности в первые 7 сут твердения. Такое явление для растворов-клеев, используемых для облицовочных работ, является нежелательным. В связи с этим было изучено влияние на процесс твердения растворов на магниальном вяжущем с наполнителем при отрицательной температуре интенсификаторов твердения – продуктов твердения магниального вяжущего.

Научной предпосылкой их выбора послужил тот факт, что имея сформировавшуюся кристаллическую структуру цементного камня, дисперсные частицы будут выполнять роль центров кристаллизации и ускорять процесс твердения.

Данный интенсификатор твердения является эффективным, причем при отрицательной температуре нет существенного различия его влияния при варьировании количества (рис. 3). При его минимальном количестве (0,5%) в растворе с максимальным содержанием гранитного шлама (50%) темп набора прочности раствора за первые 7 сут возрастает почти в 3 раза (с 3,5 до 9,5 МПа), а твердение протекает без индукционного периода.

Особенно сильное влияние интенсификатор оказывает на процесс твердения растворов при положитель-

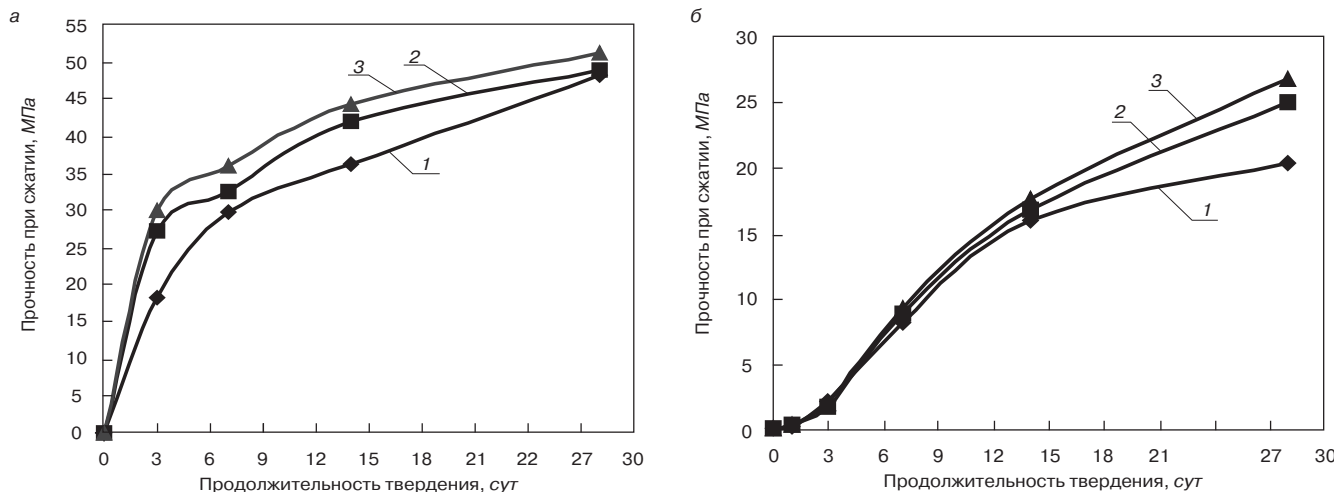


Рис. 3. Кинетика набора прочности образцов растворов на магнизиальном вяжущем с гранитным шламом (50%) и интенсификатором твердения при температуре твердения +18°C (а) и -5°C (б): 1 – 0,5% интенсификатора твердения; 2 – 1% интенсификатора твердения; 3 – 5% интенсификатора твердения

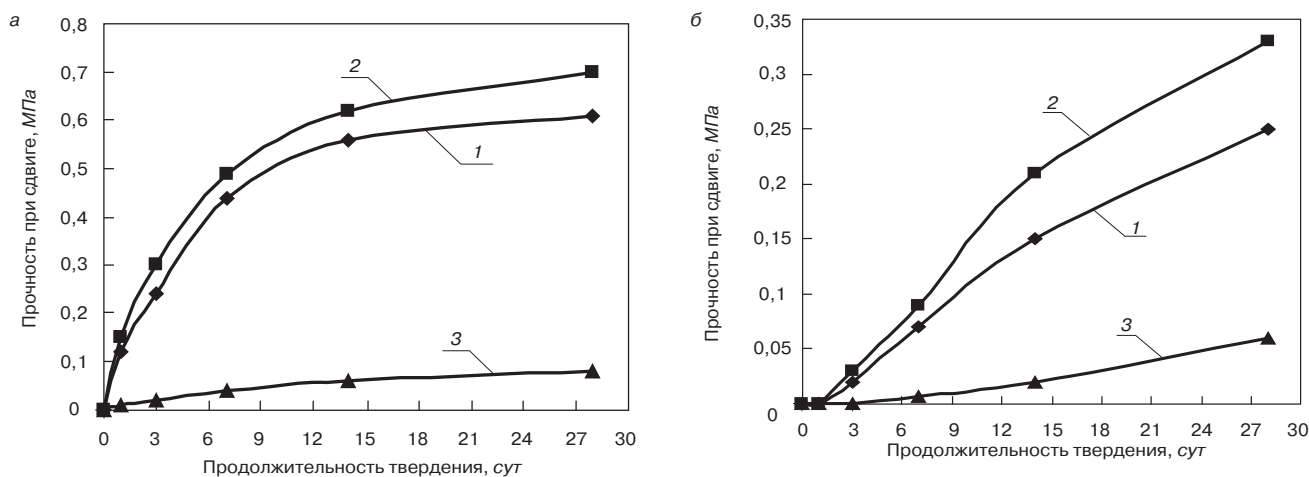


Рис. 4. Прочность при сдвиге образцов растворов, твердеющих при температуре +18°C (а) и -5°C (б): 1 – на основе каустического доломита; 2 – 50% гранитного шлама и 1% интенсификатора твердения; 3 – на основе портландцемента с противоморозной добавкой

ной температуре (60% окончательной прочности достигается уже за первые 3 сут твердения). Сравнительные данные по адгезии растворов к поверхности гранита на портландцементе и магнизиальном вяжущем, твердеющих в разных условиях, приведены на рис. 4.

Анализ кривых изменения предела прочности при сдвиге показывает, что растворы на магнизиальном вяжущем имеют более высокие показатели адгезии, чем растворы на портландцементе. Предел прочности при сдвиге у них почти в 10 раз выше, а набор адгезионной прочности происходит по такой же закономерности, что и набор прочности при сжатии. Судя по изменению кривых на рис. 4б, адгезионная прочность растворов будет продолжать расти и после 28 сут твердения.

Для оптимальных составов растворов на магнизиальном вяжущем были определены водо- и морозостойкость, значения которых находятся в пределах 0,82–0,96 и 140–175 соответственно.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена возможность получения на основе магнизиального вяжущего из каустического доломита раствора, твердеющего при отрицательной температуре с высоким темпом набора прочности и достижением высоких значений физико-механических свойств.

Указанные растворы на магнизиальном вяжущем могут быть использованы для проведения облицовочных работ в зимних условиях, а высокие показатели их по прочности, особенно по адгезии, позволяют отказаться от арматурных сеток, уменьшить толщину слоя

раствора и в целом расход материалов. Производство магнизиального цемента на основе каустического доломита планируется на ОАО «Доломит» (Республика Беларусь, Витебская обл.).

#### Список литературы

1. Миронов С.А., Лагойда А.В. Бетоны, твердеющие на морозе. М.: Стройиздат. 1975. 252 с.
2. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. М.: Стройиздат. 1975. 700 с.
3. Балицкий В.С., Марченко Л.С. Бетонные работы (технология и организация). Киев: Будівельник. 1977. 234 с.
4. Миронов С.А. Зимнее бетонирование и тепловая обработка бетона. М.: Стройиздат. 1975. 248 с.
5. Худякова Л.И., Константинова К.К., Нархимова Б.Л. Противоморозная добавка в цементы. Пат. 2256626. РФ, МПК7 С04В7/00. Байкал. инст-т природопольз. СО РАН. №20047101331/03. Заявл. 08.08.04. Оpubл. 20.02.06.
6. Кузьменков М.И., Стародубенко Н.Г., Марчик Е.В. Магнизиальный цемент из местного сырья. Концептуальные аспекты проблемы // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорганических веществ. Вып. XV. 2007. С. 51–53.
7. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. Л.: Стройиздат. 1990. 414 с.
8. Вережко В.И., Смирнская В.Н., Эрдман С.В. Водостойкие смешанные магнизиальные вяжущие // Стекло и керамика. 1997. №11. С. 33–37.

Н.С. ШЕЛИХОВ, канд. техн. наук, Р.З. РАХИМОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН, Казанский государственный архитектурно-строительный университет;  
В.П. МОРОЗОВ, канд. геол.-минер. наук, Казанский государственный университет

## Особенности формирования активной фазы MgO в доломитовом цементе

Магнезиальные вяжущие (каустический магнезит и каустический доломит) применяются в строительстве более 150 лет. За каустическим доломитом закрепилось также название «доломитовый цемент». Магнезиальные вяжущие получают обжигом магнийсодержащих карбонатных пород и затворяют водными растворами хлорида магния.

Каустический магнезит в зависимости от технологии получения имеет прочность 40–100 МПа. По общепринятым представлениям вследствие наличия в каустическом доломите не разлагающейся при обжиге сырья инертной фазы CaCO<sub>3</sub>, которая составляет 71% общей массы вяжущего, прочность каустического доломита обязательно должна быть ниже прочности каустического магнезита. Содержание активной фазы MgO в каустическом магнезите 100%, в каустическом доломите 29%. Теоретически прочность магнезита должна превышать прочность доломита в 3 раза. Практически соотношение прочностей находится в пределах от 1:1,5 до 1:2. В ряде работ по магнезиальным вяжущим [1, 2] показана возможность получения доломитового цемента с прочностью, сопоставимой с каустическим магнезитом. При оптимизации параметров обжига и выбора оптимальных параметров доломитового щебня нами был получен доломитовый цемент с прочностью до 110 МПа.

Изучение качественных отличий активных фаз (MgO) доломитового цемента и каустического магнезита после обжига сырья даёт основание для применения в производстве магнезиальных вяжущих доломита вместо магнезита. Замена магнезита на доломит позволит снизить стоимость вяжущего за счет снижения стоимости сырья и использовать местные запасы природных ресурсов.

Обжиг магнезита и доломита (табл. 1), в условиях одинаковых удельных энергетических затрат на разложение единицы сырья с учетом значений эндотермических эффектов при разложении магнезита и доломита проводился при 650 и 750°C соответственно. При постоянной вентиляции обжигового пространства в течение 0,5–3,5 ч обжигали магнезитовый и доломитовый щебень фр. 5–7 мм. С целью исключения влияния побочных факторов на процесс обжига пробы были отобраны с приблизительно одинаковым составом примесей.

Удельная прочность доломитового цемента (на единицу активной фазы) на всех стадиях обжига больше удельной прочности каустического магнезита. При полном разложении удельная прочность доломитового цемента 260 МПа, а каустического магнезита 160 МПа.

Кинетика процесса разложения магнезита и доломита, контролируемая по содержанию оксида магния и обжигаемого продукта, представлена на рис. 1 и 2.

Анализ полученных данных показывает, что в течение 3 ч происходит практически полное разложение как магнезита, так и доломита, что подтверждается рентгенофазовым и химическим анализами.

Через два часа обжига практически весь магнезит разлагается (рис. 1). Максимум достигаемой каустическим магнезитом прочности соответствует 100% разложения магнезита.

Количество образующейся вследствие разложения магнезита активной фазы MgO, определенное рентгенофазовым анализом, практически совпадает с количеством активной фазы, определенным химическим анализом.

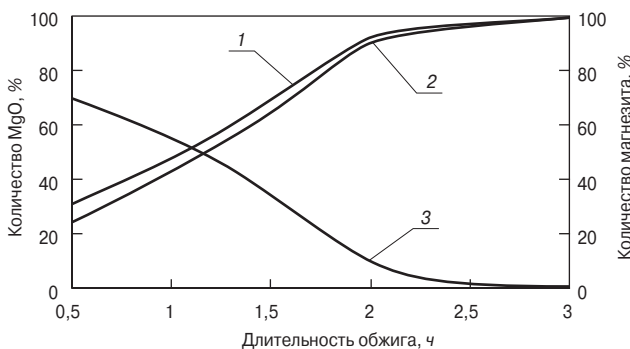


Рис. 1. Кинетика разложения магнезита: 1 – содержание MgO (химический анализ); 2 – содержание MgO (рентгенофазовый анализ); 3 – содержание магнезита (рентгенофазовый анализ)

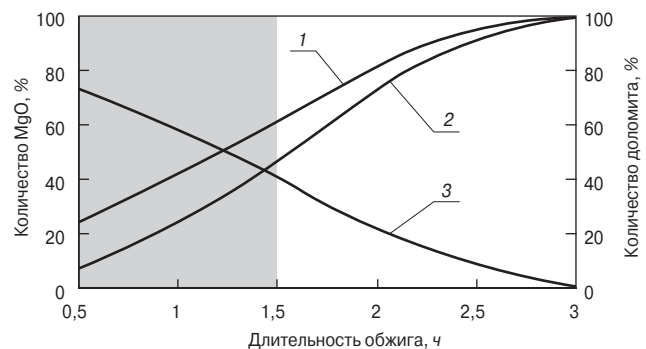


Рис. 2. Кинетика разложения доломита: 1 – содержание MgO (химический анализ); 2 – содержание MgO (рентгенофазовый анализ); 3 – содержание доломита (рентгенофазовый анализ); □ – область рентгеноаморфности MgO

Таблица 1

Сырье	MgO	CaO	CO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ППП
Доломит	21,08	29,53	46,39	1,1	0,55	0,65	47,09
Магнезит	46,17	–	50,83	1,12	0,46	0,61	51,64



Таблица 2

Время обжига, ч	Количество MgO, % от max		Размер кристаллов MgO, нм	
	Каустический магнезит	Доломитовый цемент	Каустический магнезит	Доломитовый цемент
0,5	35	25	22	15
1	50	40	26	20
1,5	70	60	30	25
2	90	80	38	31
2,5	95–100	95	45	36
3	100	95–100	47	39
3,5	100	100	50	42

Количество неразложившегося при обжиге магнезита по РФА практически соответствует количеству образовавшегося MgO, определенному этим же анализом (сумма 100%).

В табл. 2 и на рис. 2 показано, что разложение доломита в начальный период происходит медленнее. Через 2 ч обжига РФА фиксируется наличие до 20% неразложившегося доломита (для упрощения количества образовавшегося при обжиге кальцита не учитывалось).

В начальный период обжига доломита химический анализ фиксирует большее количество оксида магния, чем рентгенофазовый анализ. Причем количество неразложившегося при обжиге доломита по РФА не соответствует количеству образовавшегося MgO, определенному этим же анализом (сумма меньше 100%), но соответствует количеству MgO, определенному химическим анализом (сумма 100%). Сначала этот факт приняли за ошибку химического анализа, но при неоднократном повторении анализа результаты оказались такими же.

Прочность доломитового цемента зависит от содержания в нем MgO, определенного химическим анализом. В отличие от химического анализа, который позволяет оценить количество как кристаллического, так и аморфного MgO в доломитовом цементе, РФА по дифракционным максимумам MgO фиксирует лишь количество кристаллического MgO. Аморфная фаза MgO при проведении количественного РФА не обнаруживается, поэтому содержание в обожженной пробе остаточного доломита и новообразованного кристаллического MgO составляет менее 100%. Область наибольших расхождений кривых 1 и 2 на рис. 2 выделена как область рентгеноаморфности MgO.

Таким образом, результаты анализа свидетельствуют о качественных и количественных различиях между активными фазами MgO каустического магнезита и доломитового цемента.

Условия обжига исключали какую-либо интенсификацию процессов разложения и формирования активных фаз. Более высокая удельная прочность доломитового цемента относительно удельной прочности каустического магнезита зависит от активных фаз MgO того и другого вяжущего [3, 4].

При термической диссоциации доломита формирующийся MgO обладает меньшей степенью кристалличности, большей удельной поверхностью и дисперсностью, чем MgO, формирующийся при термической диссоциации магнезита. Это подтверждается сравнением размеров кристаллов оксида магния доломитового цемента и каустического магнезита.

Средняя величина кристаллов активной фазы MgO доломитового цемента, оцененная по полуширине дифракционных максимумов ОКР, представлена в табл. 2.

При одинаковой продолжительности обжига формирующаяся фаза MgO в доломитовом цементе обладает большей активностью при твердении, чем та же фаза в каустическом магнезите, о чем свидетельствует меньший размер ее кристаллов.

Одной из причин этого эффекта является наличие в доломитовом цементе не разложившейся при обжиге доломита карбонатной фазы в виде  $\text{CaCO}_3$ , которая может препятствовать формированию и росту кристаллов MgO вследствие эпитаксиальных и эндотаксиальных явлений, имеющих место при разложении твердых веществ [4, 5].

Активная фаза доломитового цемента представлена оксидом магния повышенной дисперсности, имеет повышенную поверхностную энергию и соответственно, повышенную реакционную способность, а значит, оксид магния доломитового цемента при равных условиях обжига сырья активнее оксида магния каустического магнезита. Поэтому использование каустического доломита для производства вяжущих материалов эффективнее, чем применение магнезита.

#### Список литературы

1. Бирюлева Д.К., Шелихов Н.С., Рахимов Р.З. и др. Влияние продолжительности обжига доломита и структурных особенностей MgO и  $\text{MgCl}_2 \cdot 3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  на прочность и водостойкость доломитового цемента // Известия вузов. Строительство. 2000. № 4. С. 32–37.
2. Шелихов Н.С., Рахимов Р.З. Комплексное использование карбонатного сырья для производства строительных материалов // Строит. материалы. 2006. № 9. С. 42–44.
3. Болдырев В.В. Реакционная способность твердых веществ. Новосибирск: Изд. СОРАН, 1997. 303 с.
4. Продан Е.А. Неорганическая топохимия. Минск: Наука и техника, 1986. 240 с.



Союз  
Производителей  
Извести

III Международная конференция

### «Современный рынок сбыта извести – потребности и возможности»

27 ноября 2008 г.

г. Сочи

#### Основные темы конференции:

- проблемы производителей и потребителей извести
- внедрение новых технологий на предприятиях отрасли

Более подробную информацию  
о проведении конференции  
можно узнать на сайте:  
[www.soyuzizvest.ru](http://www.soyuzizvest.ru)

Заявки на участие в конференции  
направлять в «Союз производителей извести»

Тел./факс: (4732) 39-84-95  
E-mail: [soyuzizvest@intercon.ru](mailto:soyuzizvest@intercon.ru)  
Киян Наталья Николаевна

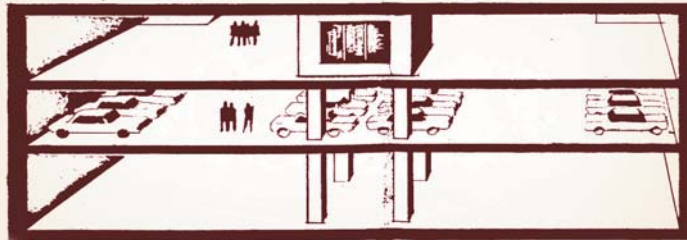
## Межрегиональная конференция «ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ»

**Организаторы:** Санкт-Петербургское отделение Тоннельной ассоциации России,  
Администрация Санкт-Петербурга, СОО, ПГУПС, СПбГИ, СПбГАСУ,  
ОАО «Ленметрогипротранс» и ОАО «ЛЕННИПРОЕКТ»

**В программе:**

- Инженерно-геологические изыскания и геотехническая ситуация;
- Правовые аспекты освоения подземного пространства;
- Оценки строительных рисков;
- Мероприятия по обеспечению безопасности строительства и эксплуатации подземных сооружений;
- Геотехническое сопровождение строительства и методы контроля.

**26-28 ноября  
2008 год  
ЛЕННИПРОЕКТ  
Санкт-Петербург**



С условиями участия  
можно ознакомиться:  
т/ф: (812) 233-2029,  
233-4189, 233-4482  
infoteka@lenproekt.com  
www.lenproekt.com

настоящая  
**ХИМИЯ**  
будущего

# ЕвроХим-1

## Полный спектр добавок для сухих строительных смесей

Ricem®

Ceasit®

Castament®

Esamid®

Esapon®

Melment®

Defomex®

Plastretard PE®

Starvis®

Neolith®

Mecellose®

Melflux®

Denka®

Technocel®

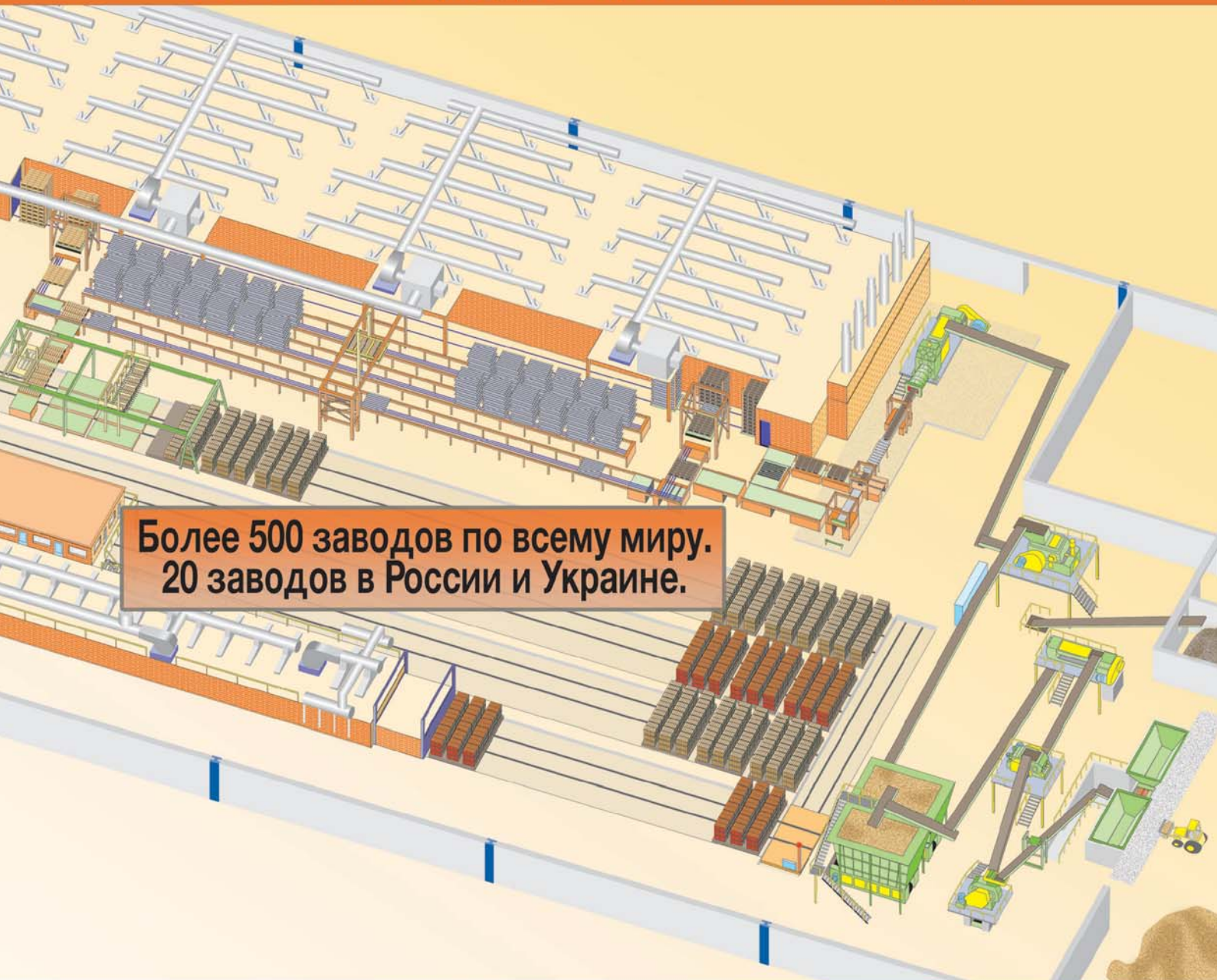
и многое  
другое

115432, г.Москва,  
ул.Трофимова, д.2а  
тел.: (495) 781-66-56  
факс: (495) 781-66-46  
e-mail: sss@eurohim.ru  
www.chem.eurohim.ru

Реклама

# Солинсер & Вердес

Ваши партнеры для строительства будущего



Более 500 заводов по всему миру.  
20 заводов в России и Украине.



Поставщик полной производственной линии



**Solincer**  
Performance in ceramics



**Verdés**

Ctra. de la Pobla, 22 – 08788 Vilanova del Camí (Bcn) Spain

Tel.: +34 93 804 70 52 Fax: +34 93 804 70 58

e-mail: solincer@solincer.com

[www.solincer.com](http://www.solincer.com) [www.verdes.com](http://www.verdes.com)

Звоните нам. Мы вместе найдем решение.

В.А. ГРИШИНА, инженер, В.Ф. ХРИТАНКОВ, канд. техн. наук,  
А.П. ПИЧУГИН, д-р техн. наук, Новосибирский государственный аграрный университет

## **Использование комплексных добавок для укрепления грунтов в сельском дорожном строительстве**

Автомобильные дороги в сельских районах являются важнейшей составной частью общей инфраструктуры агропромышленного комплекса, и их отсутствие или неудовлетворительное состояние приводят к значительным потерям сельскохозяйственной продукции. Кроме того, от состояния дорог в сельских районах зависит качество жизни на селе. Конструкция дорожной одежды внутрихозяйственных дорог вследствие меньшей интенсивности движения подвержена меньшим воздействиям транспортных нагрузок, и требования к физико-механическим свойствам, морозо- и износостойкости, усталостной прочности могут быть менее жесткими, чем для материалов дорог общего пользования. При этом дорожная одежда должна иметь достаточную прочность в течение года, а в слоях можно использовать материалы, не требующие высоких эксплуатационных показателей. Качество автомобильных дорог и особенно их долговечность в огромной степени зависят от надежности земляного полотна. Разрушения дорожного полотна связаны с процессами, происходящими в грунтовом основании, сооруженном из местных грунтов. Влага, находящаяся в порах и пустотах при переменном замерзании и оттаивании, снижает несущую способность грунта в основании дороги.

Создание материалов для стабилизации и упрочнения местных грунтов с возможностью их использования при сооружении земляного полотна и основания дорожной одежды отнесено к разряду приоритетных согласно «Концепции национальной программы модернизации и развития автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 года», утвержденной в 2004 г. В местах интенсивного движения, для пропуска гусеничных и негабаритных машин устраивают дополнительные полосы движения, специальные подъездные или грунтовые дороги вдоль дорог с твердым покрытием. Увеличение ширины проезжей части или устройство укрепительных полос вдоль автомобильной дороги влечет за собой дополнительный расход материалов, и в связи с этим особое значение приобретает использование различных производственных отходов.

Большая часть Западно-Сибирского региона не имеет природных каменных материалов, пригодных для дорожного строительства. Использование золошлаковых отходов в дорожном строительстве расширяет сырьевую базу региона и упрощает некоторые технологические процессы. Широкое применение отходов ТЭС в виде золы-уноса или золошлаковой смеси позволяет:

- использовать местные грунты в качестве дорожно-строительного материала, получаемого при воздействии на грунт добавок извести в сочетании с добавками золы-уноса, что существенно удешевляет дорожное строительство;
- высвободить огромные площади, занимаемые отвалами золы-уноса, не используемой рационально, и тем самым повысить экономический эффект от применения бурых углей в качестве местного дешевого топлива ТЭС.

Основной целью данной работы является разработка надежного и научно обоснованного способа получения

укрепленного местного грунта применительно к климатическим условиям Новосибирской области. В этом отношении перспективным является укрепление грунтов золошлаковой смесью ТЭС с добавлением отходов асбестоцементного производства и омыленного таллового пека.

Для реализации поставленной цели требовалось решить ряд теоретических и практических задач: провести анализ составов и свойств материалов, применяемых для укрепления грунтов основания автомобильных дорог, и анализ эффективности действия добавок различного типа в зольное вяжущее и композиции на его основе; теоретически обосновать и экспериментально подтвердить эффективность добавки омыленного таллового пека в зольное вяжущее; исследовать возможность микроармирования золошлакогрунта отходами асбестоцементного производства; оптимизировать составы золошлакогрунта с комплексными добавками; изучить закономерности влияния зольного вяжущего с добавками на физические, прочностные, деформативные и реологические свойства укрепленного грунта; оценить технико-экономическую эффективность работы.

Анализ научно-технической литературы и патентной информации по укреплению грунтов в дорожном строительстве и применению для этих целей золошлаковых отходов ТЭС показал, что данной проблеме посвящено большое количество работ. Отечественная практика утилизации зол в бетонах отдает предпочтение низкокальциевой золе, образующейся при сжигании каменного угля, имеющего относительно стабильный и однородный химический и зерновой состав, что не оказывает отрицательного влияния на равномерность изменения объема смешанного вяжущего вещества. Правильно подобранный состав бетонной смеси с золой по многим характеристикам может превосходить бетон на портландцементе и, прежде всего в отношении лучшей удобоукладываемости, повышенной прочности, более гладкой поверхности золобетонных конструкций.

Морозостойкость зольных цементов несколько ниже, а коррозионная стойкость выше, чем цементов без минеральной добавки. Зольные цементы отличаются более низкими деформациями усадки и набухания. Одна из особенностей цементов с добавками золы – пониженное выделение тепла при гидратации. Это определяет пригодность для изготовления массивных сооружений из гидротехнического и дорожного бетона, при твердении которого повышенное тепловыделение цемента вызывает трещинообразование. Вяжущие на основе золошлаковых отходов имеют высокую коррозионную стойкость и обладают способностью в условиях повышенной влажности в течение длительного времени продолжать набирать прочность после достижения проектных показателей.

Наиболее распространенным местным материалом являются грунты, поэтому весьма актуальна разработка методов укрепления грунтов. Основания из укрепленных грунтов отличаются низкой стоимостью, долговечностью, повышенной морозостойкостью. Наиболее эффективным и простым является метод укрепления

Материал	Содержание оксидов, % мас.										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	FeO	TiO <sub>2</sub>	ППП
Суглинок тяжелый	60,9	18,89	5,37	0,73	1,03	–	2,18	1	1,15	0,83	6,92
Глина пылевая	62,94	16,75	4,41	1,03	0,83	–	2,69	1,22	0,85	0,71	7,57
Супесь пылеватая	77,84	8,04	2,29	2,11	0,65	–	2,11	2	1,12	0,38	3,46
Супесь легкая	60,93	12,84	4,32	5,35	1,73	–	2,09	1,9	0,56	0,69	8,59
Золошлаковая (Т-У)(смесь)	55,76	22,18	4,29	4,64	1,88	0,35	0,91	0,38	0,12	0,08	9,24
Шлак (Т-У)	54,99	24,02	5,89	4,75	1,28	0,49	0,94	0,71	4,93	0,1	6,61
Зола назаровского угля	32,7	13,81	12,69	24,34	3,11	4,02	1,67	0,43	1,55	0,12	5,43
Зола березовского угля	25,72	7,18	11,07	39,6	5,94	3,01	0,57	0,56	2,44	0,23	3,67
Отходы АЦП	14,2	2,95	2,38	38,11	2,92	6,19	2,41	0,78	0,17	0,27	31,06
Песок речной	79,88	12,62	1,39	1,97	0,75	0,27	–	–	0,03	0,02	2,27
Цемент	24,31	8,34	3,46	56,28	1,57	1,53	0,82	0,15	0,07	0,01	0,59

различных грунтов портландцементом. Несмотря на очевидные преимущества, применение портландцемента в укреплении грунтов несколько ограничивается его дефицитностью и высокой стоимостью. Кроме того, укрепление грунтов только с помощью цемента не всегда эффективно. Возможно использование золы ТЭС в сочетании с цементом или известью для укрепления несцементированных обломочных, песчаных и супесчаных грунтов. Наиболее пригодными для этих целей являются золы сухого улавливания и удаления.

При строительстве автомобильных дорог золы-уноса сухого удаления используют в качестве активной гидравлической добавки совместно с цементом или известью, а также как самостоятельное медленнотвердеющее вяжущее для устройства дорожных оснований и покрытий из укрепленных грунтов и отходов, получаемых при дроблении каменных материалов. Зола улучшает гранулометрический состав смеси и благодаря своим пуццолановым свойствам участвует в процессах схватывания и твердения цемента.

В смесях с грунтами отвальные золошлаковые материалы применяются при строительстве улучшенных грунтовых дорог. Эффективность применения отвальных золошлаковых смесей можно существенно повысить, вводя в них цемент, известь и другие добавки.

Использованные в работе золы, шлаки и золошлаковая смесь представляют собой материал в виде разнопрочных гранул и кусков разнообразной величины и формы. Свойства материала как заполнителя для легких бетонов зависят от качества сжигаемого угля и технологического процесса его сгорания. В работе использованы золы бурых углей Назаровского и Березовского месторождений, золошлаковые смеси и шлак, образуемые при сжигании углей Томь-Усинского (Т-У) угольного бассейна на ТЭС и в котельных Новосибирска и Новосибирской области. Топливные золы и шлаки в отвалах неоднородны по своему химическому, минералогическому и гранулометрическому составу. Характерной особенностью кислых золошлаков является их неоднородность по размерам частиц, конфигурации, цвету и структуре. Преимущественно преобладают шарообразные частицы. Цвет частиц изменяется от светлого до черного с металлическим блеском. Испытания золошлаковой смеси по ГОСТ 25592–83 показали следующее: содержание шлака 1,3–19,7 мас. %; содержание зерен золы и шлака, проходящих через сито № 0,315, – 65,8–82,3%; содержание зерен размером более 5 мм 13,1–17,9%; максимальный размер зерен шлака 19–24 мм; влажность 14,3–19,5%; плотность

насыпная 795–850 кг/м<sup>3</sup>; потеря массы при прокаливании 8,7–15,1%.

Химический анализ зол и шлаков, проведенный по ГОСТ 5383–83, представлен в таблице. Ввиду низкого содержания оксида кальция применяемые золошлаковые смеси и шлак относятся к неактивным инертным заполнителям согласно существующей классификации, а золы Назаровского и Березовского месторождений, содержащие до 40% CaO, относятся к активным.

Используемый для некоторых сравнительных составов речной кварцевый песок Криводановского месторождения соответствует требованиям ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» и ГОСТ 8736–85 «Песок для строительных работ. Технические условия» и отнесен к мелким пескам. Химический состав песка представлен в таблице. Для дисперсного армирования грунтобетона использовали отходы асбестоцементной промышленности (АЦП), сопутствующие производству асбестоцементных изделий на заводе в г. Искитим Новосибирской обл., представляющие собой крупнотоннажный шлам (отход) из гидратированного цемента. Шлам находится в рыхлом состоянии и содержит агрегированные или дисперсные частицы асбестоцемента с наличием до 50–60% гидратированного портландцемента М400 производства Искитимцемента. Содержащийся в шламе хризотил-асбест представлен волокнами длиной 1–6 мм и диаметром 0,02–0,8 мкм. По химическому составу хризотил-асбест представляет собой гидросиликат магнезия, который может быть выражен формулой 3MgO·2SiO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O (см. таблицу).

В исследованиях был использован портландцемент М400 Искитимцемента. Испытания, проведенные по ГОСТ 310.1–4–81 и ГОСТ 5382–91, подтвердили его физико-механические и химические показатели и соответствие требованиям ГОСТ 10178–85\* «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия». Химический состав цемента приведен в таблице. Альтернативное минеральное вяжущее представлено кальциевой известью негашеной, комовой, третьего сорта, медленногасящейся производства Искитимцементстроя без добавок с насыпной плотностью 930 кг/м<sup>3</sup> и удельной поверхностью 3500–3600 см<sup>2</sup>/г.

Омыленный талловый пек, химический материал на основе жирных кислот, использовали как добавку-модификатор для активизации золошлаковой смеси.

Древесный пек не является химически индивидуальным веществом, а относится к коллоидно-аморфным системам, в состав которых входит свыше 200 наименований

различных химических веществ — сложных органических, главным образом кислотосодержащих веществ с большой молекулярной массой. Большая часть древесного пека состоит из высокомолекулярных веществ (оксикислот), которые образуются в результате разгонки смолы при высокой температуре за счет конденсации, переохлаждения, поликонденсации и полимеризации. В состав древесного пека входят также фенолы, смоляные и жирные кислоты, которые являются поверхностно-активными веществами. Эти вещества представляют большой интерес, так как обладают гидрофобизирующим эффектом при взаимодействии с минеральными частицами грунта. Древесный пек обладает хорошими вяжущими свойствами, а также гидрофобностью, т. е. способностью придавать поверхности минералов полную или частичную несмачиваемость водой. Прочность и водоустойчивость грунтов, обработанных древесным пеком, зависит от равномерного распределения вяжущего в грунте, полноты обволакивания грунтовых частиц и их агрегатов вяжущим, качества сцепления вяжущего с поверхностью грунтовых минеральных частиц. В свою очередь, обволакивание минеральных частиц вяжущим обуславливается молекулярно-поверхностными свойствами грунтов, и в первую очередь величиной энергии свободной поверхности грунтов. При взаимодействии грунта, особенно его тонкодисперсной части, с вяжущим на минеральных частицах и агрегатах образуется слой вяжущего с повышенной плотностью, который и обеспечивает сцепление более активной части вяжущего с минеральной поверхностью грунта. Необходимо отметить, что поверхность минералов грунта вследствие различного строения их кристаллических решеток обладает различной адсорбционной способностью по отношению к вяжущему. Ребра и углы кристаллов вследствие большого количества нескомпенсированных зарядов, а следовательно, большого остаточного электросилового поля, более интенсивно сцепляются с вяжущим.

Оценку степени активности минеральных вяжущих осуществляли фотоэлектродиметрическим методом с использованием видимого света в диапазоне длин волн 400–75 нм. Данный метод позволил определить содержание оксидов кремния, железа и алюминия. Идентификацию различных фаз в образцах исходных материалов и укрепленного грунта, определение изменения структуры укрепленного грунта проводили рентгенофазовым методом. Присутствие в исследуемых материалах той ли иной фазы, обнаружение реакций взаимодействия выполняли дифференциальным термическим анализом (ДТА).

Непосредственно перед изготовлением образцов определяли максимальную плотность при оптимальной влажности (ГОСТ 22733–2002) в грунтах, укрепленных вяжущим (ГОСТ 23558–94). Изготовление, хранение и испытания образцов на сжатие, изгиб, определение деформационных характеристик, плотности, набухания и водонасыщения, испытания на морозостойкость производили в соответствии с нормативными требованиями ГОСТ 12801–98.

При сравнении прочностных характеристик отдавалось предпочтение прочности при растяжении и изгибе, поскольку данная схема испытания более точно отражает работу конструкции дорожной одежды. Сроки испытания для определения кинетики исследуемых характеристик были назначены 7, 28, 90, 180, 365, 545 и 730 сут. В качестве образцов использовали балочки 160×40×40 мм.

Твердения золошлаковых смесей, укрепленных цементом, условно можно разделить на две стадии:

- взаимодействие между клинкерными материалами и водой с образованием основной части цементирующего вещества и выделением свободной извести;
- взаимодействие выделившейся извести с золой уноса, содержащейся в золошлаковой смеси, и образования вторичных цементирующих новообразований.

На первой стадии твердение протекает почти с такой же скоростью, как и в обычных бетонах. На второй стадии материал затвердевает гораздо медленнее, поэтому золошлаковые смеси, укрепленные цементом, способны постепенно увеличивать свою прочность в течение длительного времени. Выполнение физико-химических исследований выявило усиливающее влияние предлагаемой комплексной добавки в укрепленных грунтах по сравнению с укреплением цементом. Так, отмечено повышение термоустойчивости минеральных фаз и переход в зону повышенной температуры на термограммах практически для всех переходных процессов эндо- и экзотермических эффектов. Кроме того, на дифрактограммах появились дополнительные пики, соответствующие образованию гидросиликатов кальция, что свидетельствует о положительном влиянии комплексных добавок на активизацию золь и золошлаковых смесей. Подтверждением усиливающего влияния комплексных добавок на укрепленные грунты явились фотоэлектродиметрические и микроструктурные исследования, выявившие более упорядоченную структуру материала и его стабильность во времени.

Использование комплексных добавок при укреплении грунта для дорожного строительства с применением отходов АЦП и таллового пека в комплексе с золой уноса или золошлаковой смесью позволили получить устойчивые результаты по прочности грунтового основания и активизации оксида кальция в присутствии таллового пека. По разработанным рекомендациям и методике укрепления грунта непосредственно на строительной площадке были опробованы рецептуры грунтобетона с комплексными добавками и заложены производственные участки дорожного полотна. Отбор проб и испытание дорожного основания неразрушающими методами позволили сделать заключение о рациональности и эффективности использования выбранных добавок в дорожном строительстве.



**БЕЛГОРОДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
им. В.Г. ШУХОВА**



**проводит II Семинар-совещание ученых,  
преподавателей, ведущих специалистов  
и молодых исследователей**

**«КЕРАМИКА И ОГНЕУПОРЫ:  
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И  
НАНОТЕХНОЛОГИИ»**

**4–6 февраля 2009 г.**

**Белгород**

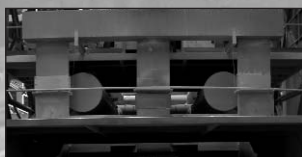
**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ:**

- ✓ Анализ современного состояния и перспективы развития науки, технологии и производства огнеупоров, технической, тонкой и строительной керамики
- ✓ Фундаментальные исследования и разработки в области наносистем, наноструктурное модифицирование сырья и материалов
- ✓ Новые керамические и композиционные материалы и технологии.
- ✓ Искусственные керамические вяжущие, ВКВС, керамобетоны различного назначения
- ✓ Структурно-фазовые превращения на стадии подготовки сырья и синтеза керамических и композиционных материалов
- ✓ Вопросы проектирования и дизайна керамических изделий

*Заявки на участие в работе семинара-совещания принимаются в электронном виде до 31 декабря 2008 г.*

**Адрес оргкомитета: 308012, Россия, г. Белгород,  
ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В.Г. Шухова,  
контактный тел./факс: (4722)55-41-61  
e-mail: eveviv@intbel.ru**

# ПНО ПРОМАВТОМАТИКА



**Газовые горелки  
для кирпичных заводов  
в комплекте с автоматикой  
и арматурой  
«под ключ»**



**Наш адрес: Россия, Москва, 117105, ул. Нагатинская, д. 3Б, офис 416  
Тел./факс: +7 (499) 611-00-62, +7 (499) 611-04-31, Тел.: +7 (910) 406-83-72  
Internet: [www.promautomatika.ru](http://www.promautomatika.ru)  
E-mail: [mail@promautomatika.ru](mailto:mail@promautomatika.ru)**

Реклама

*Я выбираю*

**жаско**

400078 Волгоград, пр. Ленина, 67/1.  
Тел.: (8442) 73-03-79, 73-06-06,  
50-66-40, 50-66-36  
[www.jasko.ru](http://www.jasko.ru) e-mail: [jasko@jasko.ru](mailto:jasko@jasko.ru)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### • МЕШКОЗАШИВОЧНЫЕ МАШИНЫ

- ✓ с ленточным транспортером
- ✓ портативные

### • ДОЗАТОРЫ

- ✓ для учета и дозирования
- ✓ для фасования в открытые мешки
- ✓ для фасования в клапанные мешки
- ✓ наполнители БИГ-БЭГов
- ✓ смесители

### • ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

- ✓ электродные
- ✓ тэновые
- ✓ газовые и дизтопливные

### • ГРАДИРНИ

### • МЕЖОПЕРАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

- ✓ шнековые транспортеры
- ✓ комплекс для разгрузки вагонов-хопперов
- ✓ загрузчики
- ✓ нории

### • СУШИЛКИ

- ✓ барабанные
- ✓ с кипящим слоем
- ✓ ленточные
- ✓ вибрационные конвективные

**ПРОИЗВОДСТВО И ПОСТАВКА: 16 ЛЕТ НА РЫНКЕ!**

Реклама

В.А. КУЗУРМАН, канд. техн. наук, И.В. ЗАДОРЖНЫЙ, инженер,  
В.Ю. ЧУХЛАНОВ, д-р техн. наук, Владимирский государственный университет

## Жаростойкие материалы на основе синтактных пенопластов с использованием отходов промышленных производств

Научно-технический прогресс в строительстве предусматривает широкое применение новых эффективных индустриальных конструкций и материалов, значительное улучшение их качества и повышение долговечности. В выполнении этой задачи большая роль отводится жаростойким пенокерамическим и пенокарбидным материалам и материалам на основе вспененных полимеров. Эти материалы сохраняют все высокие качества, присущие карбидам, но в результате организации пористой структуры обладают регулируемой плотностью и другими ценными физико-химическими характеристиками.

Для получения пенокерамических и пенокарбидных материалов применяли карботермический способ. Для организации пористости в исходную смесь вводили углеродные микросферы (УМ). Жидкое карбонизирующее связующее – СФЖ (фенолформальдегидная смола) было основным поставщиком углеродного восстановителя. В качестве карбидообразующих добавок использовали мелкодисперсные порошки титана, кремния, их оксиды.

Однако несмотря на высокие теплофизические и физико-механические свойства пенокерамических материалов широкому применению препятствует высокая стоимость углеродных микросфер, которые получают карбонизацией фенольных микросфер (ФМ) при 800°C, порошков металлов и их оксидов.

Целью данного исследования было найти подходящую замену карбидообразующим материалам и порообразователю без ухудшения высоких физико-механических

и теплофизических свойств пенокерамических материалов.

Лейкоксеновый концентрат (ЛК), являясь отходом Ярегского нефтетитанового месторождения, может служить хорошей карбидообразующей добавкой при получении пенокерамических материалов, так как представляет собой в основном смесь оксидов кремния и титана (60% SiO<sub>2</sub>, 30% TiO<sub>2</sub>), способных образовывать карбиды. А в качестве порообразователя могут служить полые керамические микросферы (ПКМ). За рубежом данные материалы получили название ценосферы. ПКМ – часть дымовых выбросов тепловых станций, работающих на угле. Химический состав ПКМ показал, что материал состоит в основном из SiO<sub>2</sub> – 60 мас. %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 28 мас. %.

Физико-механические свойства пенокерамических материалов представлены в табл. 1 и 2. Анализ результатов измерений кажущейся плотности (ρ), прочности при сжатии (σ), теплопроводности (λ) и удельной электропроводности (α) образцов показывает следующее.

**Плотность.** При уменьшении количества ЛК и увеличении массы микросфер в исходной смеси кажущаяся плотность пеноматериалов уменьшается во всех случаях независимо от типа микросфер. Введение ЛК свыше 50 мас. % приводит к линейной зависимости плотности от содержания микросфер (МСФ).

Плотность материала с ценосферами (ПКМ) намного выше (1,1–1,6)·10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>, чем плотность материала с угольными микросферами. Это связано с меньшим диаметром ценосфер, чем угольных микросфер. По-види-

Таблица 1

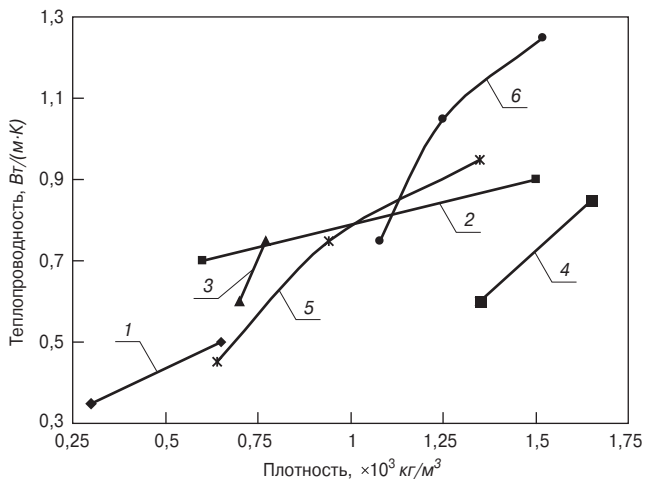
Состав исходной смеси, мас. %			Свойства			
Добавка	Микро-сферы	СФЖ	ρ·10 <sup>3</sup> , кг/м <sup>3</sup>	σ, МПа	α, Ом/м	λ, Вт/(м·К)
SiO <sub>2</sub>	УМ					
55	20	25	0,3	0,4	10	0,35
78	5,5	16,5	0,65	6,5	40	0,5
TiO <sub>2</sub>	УМ					
55	20	25	0,6	0,7	500	0,7
83	4	13	1,5	8	135	0,9
Si	УМ					
58	9	33	0,7	5,6	40	0,6
64	13	23	0,77	7,5	25	0,75
Ti	УМ					
75	9	16	1,35	7	10000	0,6
80	6	14	1,65	15	16000	0,85

Таблица 2

Состав исходной смеси, мас. %			Свойства			
Добавка	Микро-сферы	СФЖ	ρ·10 <sup>3</sup> , кг/м <sup>3</sup>	σ, МПа	α, Ом/м	λ, Вт/(м·К)
ЛК	ФМ					
50	22	28	0,6	3,91	915	0,4
64	15	21	0,72	2,55	450	0,6
64	12	24	0,89	2,74	810	0,7
80	5	15	1,24	1,04	100	1,25
ЛК	УМ					
50	23	27	0,64	2,26	1060	0,45
64	16	20	0,76	2,51	700	0,65
64	13	23	0,94	2,81	880	0,75
80	5	15	1,35	4,18	80	0,95
ЛК	ПКМ					
50	31	19	1,08	12,61	160	0,75
60	25	15	1,17	14,05	150	0,95
60	21	19	1,25	17,61	155	1,05
75	10	15	1,52	19,97	140	1,25



Таблица 3



Зависимость теплопроводности от плотности при разном содержании компонентов в исходной смеси: 1 – SiO<sub>2</sub>+УМ; 2 – TiO<sub>2</sub>+УМ; 3 – Si+УМ; 4 – Ti+УМ; 5 – ЛК+УМ; 6 – ЛК+ПКМ

тому, это отличие должно сказаться на других свойствах материалов.

**Механическая прочность.** Зависимости прочности при сжатии от концентраций компонентов в исходной смеси неоднозначны и менее резко выражены в отличие от плотности.

Резко возрастает прочность материала с ценосферами (17–21 МПа); образцы также значительно прочнее в сравнении с образцами, содержащими фенолформальдегидные и углеродные микросферы.

**Теплопроводность.** В большинстве случаев теплопроводность зависит от состава и пористости. Улучшения теплоизоляционных свойств можно достичь увеличением пористости, однако в ряде случаев для увеличения стойкости изделий необходимо уменьшение их пористости. В зависимости от конкретных условий эксплуатации материалы могут обладать как высокой плотностью и низкой пористостью (с карбидообразующей добавкой порошка титана), так и наоборот, высокопористой малоплотной структурой (с добавкой порошка оксида кремния).

На рисунке представлены зависимости теплопроводности от плотности при разном содержании компонентов в исходной смеси. При увеличении плотности теплопроводность материала увеличивается, причем теплопроводность материалов с ПКМ выше теплопроводности образцов с УМ.

**Электропроводность.** Электропроводность синтезированных пеноматериалов определяется количеством и подвижностью носителей тока (ионов и электронов) в составляющих исходной смеси, в продуктах карбонизации и карбидизации, а также зависит от структуры материала и его пористости. Исходные компоненты – оксиды кремния, титана, алюминия, фенолформальдегидная смола и уголь в твердом состоянии практически не проводят электрический ток, за исключением угля.

После карбидизации материала (1100–1500°С) электропроводность должна возрастать, поскольку оксиды превращаются в карбиды, из которых карбид титана обладает металлической проводимостью (плюс остаточные углерод и оксиды переменной валентности).

Результаты измерений показывают, что электропроводность образцов в целом понижается при увеличении концентрации лейкоксена.

Если пеноматериалы с ФМ и УМ отличаются по проводимости незначительно, то образцы с ПКМ проводят электрический ток заметно хуже. Это обусловлено составом ценосфер (около 60 мас. % SiO<sub>2</sub>). При термообработке образуются карбиды кремния, которые

Состав исходной смеси, мас. %				Свойства		
ЛК	МСФ	СФЖ	Порошок элемента	$\rho \cdot 10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma$ , МПа	$\alpha$ , Ом/м
71	ФМ	17	Ti	1,32	6,23	490
73	8	15	4	1,52	10,67	370
73	6	13	6	1,65	8,16	290
73	УМ	14	5	1,4	13,02	235
74	8	12	8	1,48	7,76	415
73	6	12	11	1,62	13,85	545
71	ФМ	18	Si	1,23	7,34	205
73	8	16	3	1,39	8,64	175
73	6	14	5	1,47	8,29	105
72	УМ	16	4	1,34	10,8	510
73	8	16	7	1,57	16,62	380
73	4	12	11	1,44	6,37	120

вследствие наличия в них преимущественно ковалентных связей обладают низкой электропроводностью.

В табл. 3 приведены свойства пеноматериалов с добавками порошков кремния и титана после карбидизирующей термообработки. По сравнению с соответствующими составами материалов без добавок кремния и титана плотность и электропроводность полученных образцов возрастают незначительно. При этом плотность и проводимость образцов с добавками титана выше, чем материала с кремнием.

Прочность при сжатии всех образцов с добавками порошков кремния и титана существенно выше, чем для подобных образцов без добавок (6–16 МПа). Это указывает на целесообразность введения 5–7 мас. % порошков элементов для увеличения механической прочности. Разница в прочности при добавлении кремния или титана практически отсутствует. Материалы с углеродными микросферами показывают большие значения электропроводности в сравнении с образцами с фенолформальдегидными микросферами.

Таким образом, появляется возможность создания сравнительно недорогих, но достаточно эффективных жаростойких пеноматериалов на основе синтактных пенопластов с использованием ПКМ и отходов нефтяного месторождения.

При этом решаются экологические проблемы, связанные с утилизацией дымовых выбросов и отходов нефтехимических месторождений.

Коррозионная и термостойкость, регулируемые в широких пределах теплопроводность и плотность, при достаточно высокой механической прочности и сравнительно невысокой стоимости созданных пеноматериалов являются надежной предпосылкой их использования в различных отраслях техники и промышленности.

Предлагаемая технология и легкая механическая обработка материалов позволяет изготавливать из них изделия практически любой формы и размеров. А это дает возможность использовать их как жаростойкий конструкционный материал, который может найти широкое применение при строительстве обычных и атомных тепловых электростанций, а также сооружений металлургической промышленности, работающих в условиях высоких температур.

Нам 15 лет!

www.mosbuild.com

Главная выставка года  
31 марта - 3 апреля 2009

MosBuild

**Экспоцентр**  
Москва

**Buildex**

Строительство

**hardware & tools**

Инструменты. Крепеж

**build electric**

Электрика

**building automation systems**

Системы автоматизации зданий

**building materials & equipment**

Строительные материалы и оборудование

**plumbing & pipes**

Инженерное оборудование

**Крокус Экспо**  
Москва

**MosInteriors**

Интерьер. Отделка. Мебель

**interior finishes**

Отделочные материалы

**interiors plus**

Декор, мебель, интерьер

**doors & locks**

Двери и замки

**flooring**

Напольные покрытия

**decotex**

Декор окна и декоративный текстиль

**paints & coatings**

Краски и покрытия

**Cersanex**

Керамика. Сантехника

**ceramica**

Керамика

**bathrooms**

Сантехника, интерьеры ванных комнат

**technoceramica**

Оборудование и технологии для керамической промышленности

**WinTecExpo Moscow**

Оконные технологии

**CountryLiving**

Загородный дом

**Stonex**

Натуральный и искусственный камень

Получить дополнительную информацию Вы можете на официальном сайте выставки [www.mosbuild.com](http://www.mosbuild.com)

Организаторы:



ITE  
Москва: +7 (495) 935 7350  
Лондон: +44 (0) 20 7596 5000  
[www.mosbuild.com](http://www.mosbuild.com)

Информационная поддержка:



При содействии:



ЭКСПОЦЕНТР



КРОКУС ЭКСПО  
Международный выставочный центр

# СТРОММАШКОМПЛЕКТ

ТОРГОВЫЙ ДОМ ЗАВОДА "СТРОММАШИНА"



Мельницы шаровые и стержневые  
Сушильные барабаны и сушильные комплексы  
Гомогенизаторы, элеваторы, конвейеры  
Циклоны, сепараторы



Оборудование для производства керамзита, гипса,  
минерального порошка, минеральной ваты, ВНВ  
Фильтры рукавные, бетоноукладчики

Россия, 443022, г. Самара, ул. 22 Партсъезда, 10А  
Тел./факс: (846) 992 10 55, 279 29 04, 992 05 79, 279 26 31, 279 28 04  
E-mail: strommash@samtel.ru  
www.strommash.ru

Реклама

## Развитие производства силикатного кирпича в России

3 декабря 2008 г.

Москва



### Тематика конференции:

- Состояние и пути развития производства силикатных материалов
- Совершенствование производства силикатного кирпича
- Сырьевые материалы и технологии их подготовки
- Новые технические решения в технологии производства извести
- Диверсификация заводов силикатного кирпича
- Применение силикатного кирпича в строительстве



К проведению конференции готовится тематический номер журнала «Строительные материалы»<sup>®</sup> №11-2008.

Организаторы конференции: журнал «Строительные материалы»<sup>®</sup>, ЗАО «Корпорация стройматериалов», РНТО строителей

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ<sup>®</sup>**

Генеральный спонсор конференции: Masa-Henke Maschinenfabrik GmbH



Для участия в семинаре необходимо получить договор-заявку

Менеджер проекта – Горегляд Светлана Юрьевна  
Телефон/факс: (495) 976-22-08, 976-20-36  
Тел.: (926) 833-48-13, (916) 123-98-29

E-mail: mail@rifsm.ru, http://www.rifsm.ru  
Адрес для корреспонденции:  
117997, Москва, ул. Кржижановского, д.13

С.Ф. СМЕРНОВ, канд. техн. наук, В.П. ЖУКОВ, д-р техн. наук,  
С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН,  
Ивановский государственный архитектурно-строительный университет;  
D. URBANIAK, канд. техн. наук, T. WYLECIAL, канд. техн. наук,  
Ченстоховский политехнический университет, Польша

## Влияние материальной загрузки на измельчение в струйной мельнице кипящего слоя

Струйные мельницы кипящего слоя используются в различных технологиях строительной индустрии, химической промышленности и фармакологии для получения мелких фракций особо чистых порошков, которые не содержат продуктов намола мелющих тел [1–6]. Эффективная работа мельниц связана с выбором оптимального технологического режима, который при соблюдении технологических ограничений обеспечит максимальную производительность установки.

Сложный характер движения газа и частиц измельчаемого материала существенно затрудняет моделирование процесса измельчения. Следует отметить, что если исследованию влияния на работу мельницы расхода газа, производительности по исходному порошку, скорости вращения ротора классификатора посвящено большое число публикаций [1–3], то влияние материальной загрузки на измельчение освещено достаточно скудно.

Целью проводимых исследований является определение влияния материальной загрузки на измельчение. Для достижения поставленной цели проведены экспериментальные исследования и предложена математическая модель измельчения, учитывающая материальную загрузку мельницы.

Экспериментальные исследования проводили на лабораторной струйной мельнице кипящего слоя. Внутренний диаметр цилиндрической части реактора кипящего слоя равен 140, высота 280 мм. Исходный материал (П) загружали в реактор, куда через одно вертикальное и три горизонтальных сопла одновременно подавали воздух (В). Находясь во взвешенном состоянии и сталкиваясь с другими частицами и со стенками аппарата, частицы интенсивно измельчаются. Образовавшиеся осколки транспортируются воздухом сначала в гравитационную, а затем в центробежную ступени разделения. Крупные частицы после классификации возвращаются в реактор для повторного измельчения, а мелкие частицы (М) выносятся из установки.

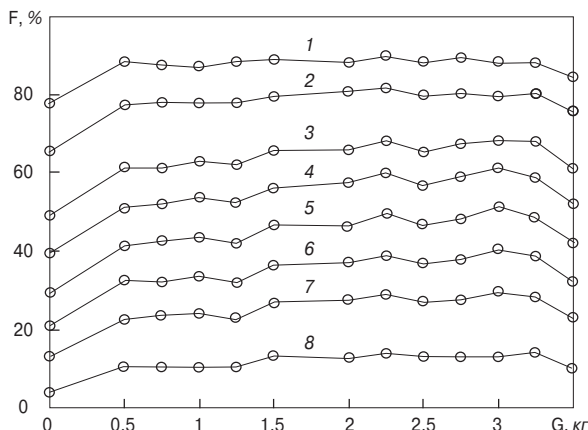


Рис. 1. Экспериментальные зависимости прохода через контрольное сито  $F$  от материальной загрузки мельницы при разных размерах контрольных сит: 1 – 892; 2 – 1021; 3 – 1085; 4 – 1150; 5 – 1214; 6 – 1279; 7 – 1408; 8 – 1537 мкм

Во время опытов контролировали следующие параметры процесса:  $p_p$  – атмосферное давление, Па;  $p$  – давление энергоносителя перед мельницей, кПа;  $n$  – скорость вращения ротора классификатора, 1/с;  $t$  – время опыта, мин;  $G_N$  – масса загрузки реактора в начале опыта, кг;  $G_K$  – масса загрузки реактора в конце опыта, кг;  $G_C$  – масса материала в циклоне, кг;  $Q$  – расход воздуха через мельницу, м<sup>3</sup>/ч.

При проведении опыта в мельницу загружали порцию известняка с известной массой и определенным гранулометрическим составом. Гранулометрический состав исходного порошка во время всей серии экспериментов был неизменным, массу материальной загрузки изменяли в широком диапазоне. Скорость вращения ротора классификатора устанавливали максимальной, что обеспечивало практически полный возврат выносаемого из мельницы порошка и, следовательно, измельчение в периодическом режиме при постоянной материальной загрузке мельницы.

После окончания эксперимента материал выгружали из мельницы и определяли его гранулометрический состав на анализаторе дисперсности IPS-A System, который выбирает размеры контрольных фракций автоматически согласно встроенному алгоритму. Для исключения влияния крупности частиц на измельчение время опыта выбирали так, чтобы изменение содержания узких фракций материала не превышало 10%. Выбранная из этих соотношений продолжительность опыта составила 5 мин. Расход воздуха во всех опытах поддерживался постоянным, равным 7 м<sup>3</sup>/ч. В ходе опыта контролировали потери массы материала, которые не превышали 1%.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1 в виде зависимости прохода материала через контрольное сито от материальной загрузки мельницы. Анализ полученных зависимостей показывает, что в диапазоне загрузки 1–3 кг содержание большин-

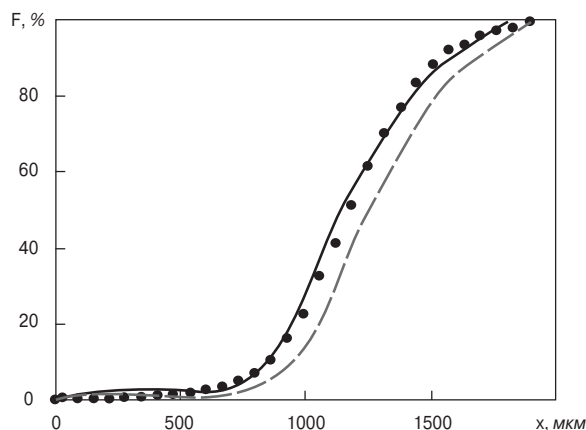


Рис. 2. Сопоставление расчетных (сплошная линия) и экспериментальных (точки) гранулометрических составов измельченного материала при  $G=0,5$  кг. Штриховой линией показан гранулометрический состав материала до измельчения

ства фракций в измельченном материале изменяется несущественно. При материальной загрузке меньше 1 кг и больше 3 кг эффективность измельчения по всем фракциям существенно снижается.

Для моделирования измельчения использовали популяционно-балансовую модель в матричной форме [7–10]. Известные матрица разрушения  $\mathbf{P}$  и гранулометрический состав исходного материала  $\mathbf{f}_0$  позволяют рассчитать гранулометрический состав материала после измельчения  $\mathbf{f}$  [7]:

$$\mathbf{f} = \mathbf{P} \times \mathbf{f}_0 \quad (1)$$

Основная задача моделирования сводится к определению матрицы разрушения и установлению ее зависимости от материальной загрузки. Ранее [1] было показано, что в струйных мельницах кипящего слоя разрушение материала происходит преимущественно за счет истирания. Считается, что при истирании от исходной частицы откалываются только мелкие осколки, а масса частиц фракции после разрушения переходит только в два класса крупности: мелкий и соседний. Матрица разрушения при этом записывается в виде:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ p_{21} & p_{22} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & p_{32} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & p_{n-1n-1} & 0 \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn-1} & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Вероятности переходов массы частиц при разрушении из фракции  $j$  во фракцию  $i$  определяются соотношениями:

$$p_{i,j} = \begin{cases} 1 - S_j, & i=j \\ \frac{S_j x_{j+1}^k}{x_{j+1}^k + x_n^k}, & i=j+1 \\ \frac{S_j x_n^k}{x_{j+1}^k + x_n^k}, & i=n \\ 0, & i \neq j, j+1, n \end{cases} \quad (3)$$

где  $S$  – селективная функция разрушения;  $x$  – размер частицы;  $k$  – параметр, соответствующий форме разрушаемых частиц;  $k=1$  для частиц линейной,  $k=2$  – пластинчатой,  $k=3$  – кубической структуры; индексы показывают номер фракций. Селективная функция разрушения или скорость разрушения фракции записывается в виде степенной зависимости от размера частицы в виде [10]:

пенной зависимости от размера частицы в виде [10]:

$$S = \alpha x^m, \quad (4)$$

где  $\alpha, m$  – коэффициенты. Параметр  $\alpha$  согласно [9] зависит от характера подвода энергии к материалу и от величины материальной загрузки.

Для описания влияния материальной загрузки на измельчение предлагается следующая модель. Будем считать, что селективная функция или вероятность разрушения частицы фракции определяется произведением вероятности нагружения частицы и вероятности разрушения нагруженной частицы. При малых загрузках и небольшом числе частиц разрушение лимитируется вероятностью нагружения частиц, а при увеличении загрузки и числа частиц снижается плотность энергоподвода и соответственно снижается вероятность разрушения нагруженных частиц. Сделанные замечания и результаты экспериментальных исследований позволяют предположить квадратичный вид зависимости параметра селективной функции от материальной загрузки:

$$\alpha = a_0 + a_1 G + a_2 G^2 \quad (5)$$

Для определения коэффициентов аппроксимирующей зависимости (5) проведены соответствующие расчеты. Для каждой материальной загрузки мельницы при идентификации модели методом наименьших квадратов [11] по минимуму рассогласования расчетных и экспериментальных данных определяется значение параметра  $\alpha$ . Качество описания моделью экспериментальных гранулометрических составов показано на рис. 2 и 3 для двух материальных загрузок мельницы ( $G=0,5$  и 3 кг). Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показывает, что модель удовлетворительно описывает реальные гранулометрические составы.

Найденные значения параметра  $\alpha$  позволяют определить методом наименьших квадратов [11] вид зависимости параметра селективной функции от материальной загрузки:

$$\alpha = 0,0116 + 0,0084 \cdot G - 0,0021 \cdot G^2 \quad (6)$$

Согласно (1) с учетом (2)–(6) рассчитываются гранулометрические составы порошка после измельчения для всех исследованных материальных загрузок. На рис. 4 приведено сопоставление экспериментальных и расчетных гранулометрических составов, которое показывает удовлетворительное совпадение рассчитанных и измеренных результатов при среднем относительном расхождении между их значениями 3,2%.

Предложенная математическая модель и ее эмпирическое обеспечение представляет интерес для научно-исследовательских, проектных и наладочных организаций.

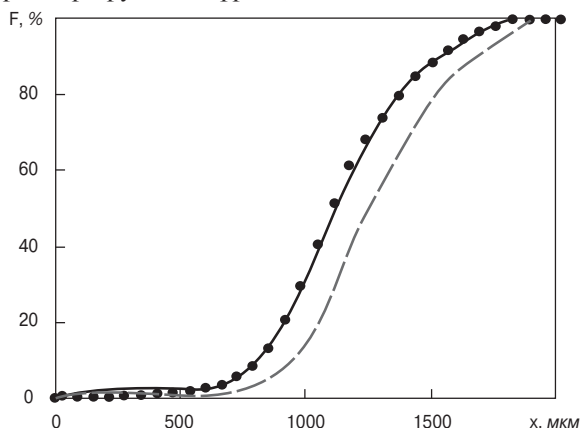


Рис. 3. Сопоставление расчетных (сплошная линия) и экспериментальных (точки) гранулометрических составов измельченного материала при  $G=3$  кг. Штриховой линией показан гранулометрический состав материала до измельчения

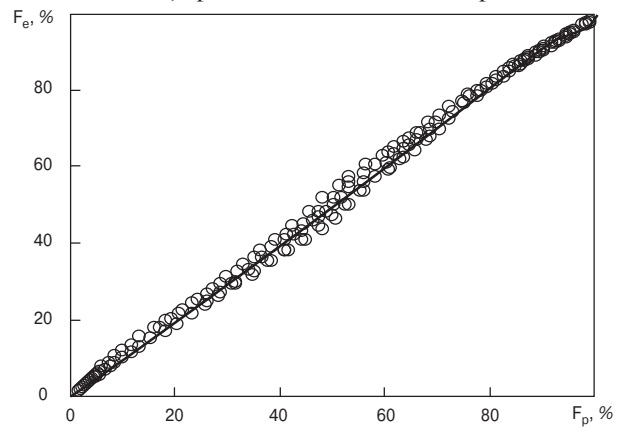


Рис. 4. Сопоставление расчетных ( $F_p$ ) и экспериментальных ( $F_e$ ) гранулометрических составов измельченного материала в диапазоне материальных загрузок  $G=0,5-3,5$  кг

Список литературы

1. *Озурцов А.В., Zbronski D., Жуков В.П., Otwinovski H., Urbaniak D.* Метод расчета струйной мельницы кипящего слоя // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2004. № 10. С. 122–124.
2. *Palaniandy S., Azizli K., Hussin H., Hashim S.* Effect of operational parameters on the breakage mechanism of silica in a jet mill // Minerals Engineering. 2008. 21. P. 380–388.
3. *Fukunak T., Golmanb B., Shinohara K.* Batch grinding kinetics of Ethenzamide particles by fluidized-bed jet-milling // International Journal of Pharmaceutics. 2006. 311. P. 89–96.
4. *Berthiaux H., Dodds J.* Modeling fine grinding in a fluidized bed opposed jet mill. Part I: batch grinding kinetics // Powder Technology. 1999, 106. P. 78–87.
5. *Berthiaux H., Chiron C., Dodds J.* Modeling fine grinding in a fluidized bed opposed jet mill. Part II: Continuous grinding // Powder Technology. 1999, 106. P. 88–97.
6. *Tasirin S.M., Geldart D.* Experimental investigation on fluidized bed jet grinding // Powder Technology. 1999, 105. P. 337–341.
7. *Mizonov V., Zhukov.V., Bernotat S.* Simulation of grinding: new approaches. Ivanovo: ISPEU Press, 1997. 108 p.
8. *Broadbent S.R., Callcott T.G.* A matrix analysis of processes involving particle assemblies. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1956, A 249. P. 99–123.
9. *Жуков В.П., Греков А.В., Мизонов В.Е.* Влияние фракционного состава мелющих тел на кинетику измельчения // ТОХТ. 1993. Т. 27. № 2. С. 199–201.
10. *Мизонов В.Е. и др.* // Цветные металлы. 1984. № 3. С. 57–59.
11. *Корн Г.* Справочник по математике. М.: Высшая школа, 1973. 500 с.

ОАО Горно-обогащительная компания



предлагает

- Песок кварцевый для строительных работ и производства сухих строительных смесей
- Песок фракционированный 0,5–1,0; 0,63–1,6; 1,0–3,0 мм
- Песок формовочный для литейной промышленности

ДОСТАВКА: ж.-д. транспортом со ст. Милославское Рязанской обл. вагонами «хopper» и полувагонами; автотранспортом со склада фабрики самовывозом  
ОТГРУЗКА насыпью или в мягких контейнерах МКР-10С

АДРЕС ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА В РЯЗАНИ  
390044 г. Рязань, Московское ш., д. 16  
Тел.: (4912) 38-88-37, 38-88-35  
Факс: (4912) 30-66-06, 34-31-47  
igorkup@yandex.ru www.muraevnya.ru

РАСЧЕТ



ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ И СОРТИРОВКИ  
ГОРНЫХ ПОРОД

- дробилки • питатели • грохоты • конвейеры • агрегаты

Мы предлагаем полный комплекс услуг: проектирование, разработку технологии, производство, поставку, монтаж и шеф-монтаж, пусконаладку, гарантийное и послегарантийное обслуживание

www.drobmash.ru

ОАО «Дробмаш», г. Выкса Нижегородской области, ул. Заводская, 1  
Продажи по России: +78317733690, +78317734020, +78317762862, +78317762758  
Продажи за рубежом: +78317736002, +78317734271. Служба сервиса: +78317762833

РАСЧЕТ



## ■ Измельчительные комплексы КИ

Измельчительные комплексы КИ предназначены для производства тонких и сверхтонких порошков из материалов любой степени абразивности и твердости. Получаемый продукт характеризуется узким фракционным составом и высокой физико-химической активностью. Измельчительные комплексы КИ позволяют получать группы продуктов с тониной помола от 500 до 5 мкм и производительностью от 1 до 15 т/ч. Особенностью эксплуатации измельчительных комплексов КИ является: отсутствие мелющих тел, высокий коэффициент использования оборудования, стабильность гранулометрического состава продуктов измельчения, низкая периодичность и время сервисного обслуживания, высокая надежность оборудования. Основой высоких технических характеристик оборудования и низкой стоимости эксплуатации является многолетний опыт работы и уникальные запатентованные решения, реализованные в оборудовании: газостатическая опора, конструкции ускорителей и отбойных элементов, высокая точность изготовления узлов и деталей. Измельчительные комплексы эффективно применяются для получения компонентов ССС, цементов, наполнителей и т. д.



## ■ Классифицирующие комплексы КЦ

Воздушно-центробежные классификаторы КЦ применяются в технологических линиях для получения тонкодисперсных материалов и предназначены для высокоточного разделения мелкодисперсных частиц по крупности или плотности (при однородности частиц). Позволяют классифицировать материалы в диапазоне крупности от 10 до 160 мкм с заданной границей разделения (от 0,02 мм. и выше) и производительностью от 0,1 до 20 т/ч. Классифицирующие комплексы КЦ целесообразно использовать как автономно, так и в комплекте с измельчительными комплексами КИ, с целью получения более тонкодисперсных и однородных продуктов при снижении удельных энергозатрат. Воздушно-центробежные классификаторы КЦ применяются для получения высококачественных наполнителей, активных минеральных добавок, гидравлических и шлакощелочных вяжущих, высокомарочных цементов и других материалов.

УДК 691.002.5

А.Б. ЛОСКУТОВ, заведующий проектно-конструкторским отделом,  
ОАО «НИИпроектасбест» (г. Асбест Свердловской обл.)

## Виброактиваторы бункерные для разгрузки трудносыпучих материалов

Переработка минерального сырья сопровождается, как правило, перемещением значительного количества сыпучих материалов, представляющих собой многокомпонентные смеси частиц с различными физическими свойствами.

Технологическими линиями предусматривается временное накопление этих материалов в бункерах, емкостях. При последующей выгрузке трудносыпучих материалов из бункеров-накопителей возникает ряд проблем, связанных с зависанием продукта в бункерах, сводообразованием, сегрегацией.

Специалистами института НИИпроектасбест была разработана система виброактиваторной разгрузки бункеров. В настоящее время сотни виброактиваторов работают на предприятиях стройиндустрии, горно-металлургической и химической промышленности России и стран СНГ. К настоящему времени разработан и эксплуатируется широкий типоразмерный ряд виброактиваторов бункерных. Технические характеристики представлены в таблице.

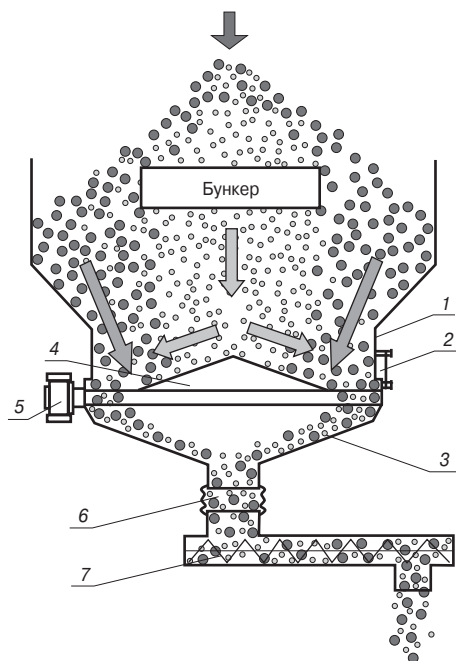


Рис. 1. Схема установки виброактиватора: 1 – формирователь потока; 2 – гибкие связи; 3 – профильная воронка; 4 – конус-рыхлитель; 5 – вибратор; 6 – гибкая вставка; 7 – питатель

Виброактиватор (рис. 1) состоит из формирователя потока цилиндрической формы и подвешенной к нему на гибких связях профильной воронки, внутри которой по центру установлен конус-рыхлитель, а снаружи жи вибратор.

При включении вибратора профильной воронке сообщаются крутильные колебания. Конус-рыхлитель, воздействуя на материал, находящийся в накопительной емкости (бункере), стимулирует его равномерное продвижение к разгрузочному отверстию через кольцевую щель, образованную профильной воронкой и конусом-рыхлителем. В результате предотвращается зависание материала в верхней части бункера, образование застойных зон.

В качестве побудителей колебаний используют серийно выпускаемые вибраторы ИВ-98, -99, -105 и др., а также вибраторы конструкции НИИпроектасбест. Эти вибраторы работают на жидкой смазке, все их несущие элементы выполнены из стали. Привод осуществляется через гибкую муфту от серийного электродвигателя мощностью 1,5 кВт. Электродвигатель располагается на неподвижной части бункера, и на него передается вибрация. Машины удобны в обслуживании, надежны, долговечны, экологически безопасны. Конструкция виброактиватора полностью исключает выбросы пыли в производственные помещения.

Виброактиваторы можно устанавливать на любых видах бункеров, в том числе железобетонных. Для их монтажа не требуется дополнительной площади и переконфигурации действующего оборудования, а для разгрузки сыпучего материала из бункера с помощью виброактиватора можно производить на шнековый или ленточный конвейер либо через шиберную заслонку непосредственно в технологический аппарат.

Многолетним опытом эксплуатации виброактиваторов подтверждена эффективность их использования для решения многочисленных проблем, связанных с процессом выгрузки из бункеров трудносыпучих материалов: щебня, песка, минеральной крошки, наполнителей и др.

Например, известно, что при загрузке в бункер (емкость) материал с различной крупностью частиц подвержен сегрегации: крупные частицы концентрируются у внутренней поверхности бункера, а мелкие – в центральной части, что отрицательно сказывается на последующих процессах дозирования и упаковки. Применение бункерного виброактиватора восстанавливает распределение частиц по крупности: форма конуса-рыхлителя обеспечивает движение частиц из центра бункера, а

Параметры	Модель						
	ВА-750	ВА-1000	ВА-1250	ВА-1500	ВА-1750	ВА-2000	ВА-2500
Диаметр, мм	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500
Габаритные размеры, мм:							
высота	650	700	710	790	865	1000	1500
ширина	820	1070	1340	1615	1820	2100	2940
длина	1050	1400	1735	1930	2304	2660	3640
Масса, кг	120	220	380	560	940	1080	3140



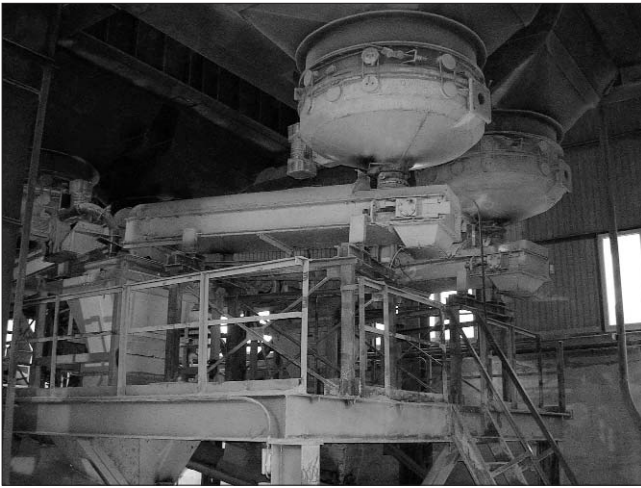


Рис. 2. Вариант установки виброактиваторов бункерных на заводе сухих смесей ЗАО «Корпорация «Атомстройкомплекс»

под воздействием вибраций профильной воронки частицы перемещаются от периферии к центру.

Равномерное истечение из бункеров трудносипучих материалов различной крупности, удельного веса и формы способствует бесперебойной работе весовых дозаторов, так как материал, в котором при загрузке в бункер произошла сегрегация частиц, снова смешивается у выхода из бункера. Например, после установки девяти виброактиваторов на одном из предприятий Екатеринбурга было налажено дистанционное управление разгрузкой материалов. Это позволило вывести из штата предприятия рабочих с профессией бункеровщика.

С применением виброактиваторов эффективно решаются проблемы выгрузки влажного и мерзлого песка. На

предприятии п. Белоярский Свердловской обл., выпускающем сухие строительные смеси, только внедрение виброактиватора позволило применить компоновочное решение, обеспечивающее полную разгрузку влажного песка при малых (45–60°) конусных углах при невозможности изменения высоты бункера исходного сырья.

Конструкция виброактиваторов позволяет принимать неординарные компоновочные решения. На Березовском заводе строительных смесей (ЗАО «Корпорация «Атомстройкомплекс», Екатеринбург) на бункерах золы и измельченной извести установлено по два виброактиватора (рис. 2). Такое решение способствует экономии площадей, капитальных вложений на строительство бункеров, позволяет разделить поток разгружаемого материала на две параллельные технологические линии.

Специалистами института при реконструкции технологических линий разрабатываются и более сложные схемы установки виброактиваторов. Например, на предприятии «Известь Сысерти» (Свердловская обл.) для выгрузки извести комовой и молотой из бункеров диаметром 11 м и емкостью 1500 м<sup>3</sup> установлено по четыре виброактиватора ВА-1750. Такая схема установки позволила организовать два симметричных поста разгрузки бункеров с возможностью одновременного заполнения двух цементовозов. Оснащение виброактиваторов телескопическими разгрузителями с регулируемой подачей материала в машины (10–60 т/ч) обеспечивает полную загрузку цементовоза емкостью 30 т за 20 мин.

Институтом предлагается комплексный подход к решению задач предприятий-заказчиков, связанных с переработкой минерального сырья, производством строительных материалов. Специалисты ОАО «НИИПРОЕКТАСБЕСТ» наряду с изготовлением и поставкой виброактиваторов выполняют проектные работы по их установке, участвуют в наладке и пуске в эксплуатацию.

## ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ: щебень, крошка, песок, минеральная мука, наполнители

### ОБОРУДОВАНИЕ - ПРОИЗВОДСТВО И ПОСТАВКА

#### Дробилки:

- роторные ДР4х2, ДР4х4, ДР6х6, ДР7х6, ДР8х8;

#### Грохоты:

- линейно-кругового движения ЛКД-1000, ЛКД-1500;  
- вибрационные ГВЛ-500, ГВЛ-720, ГВЛ-1250  
- сортировки С-600, С-1000, С-1250, С-1500, С-2000.

#### Сепараторы:

- каскадный, каскадно-центробежный;  
- магнитный.

**Виброактиваторы бункерные:** ВА-750, ВА-1000,  
ВА-1250, ВА-1500, ВА-1750, ВА-2000, ВА-2500

**Конвейеры ленточные, винтовые.**

**Элеваторы ковшовые.**

**Комплекс оборудования для измельчения  
и тонкого фракционирования сыпучих материалов.**

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКТАЦИЯ

- дробильно-сортировочных комплексов;  
- линий переработки отходов производства.

### УСЛУГИ

- разработка установочных чертежей оборудования;  
- наладка;  
- пуск в эксплуатацию.



ОАО «НИИПРОЕКТАСБЕСТ»

624266, РОССИЯ, Свердловская обл., г. Асбест, ул. Промышленная, д. 7  
Тел./факс: (34365) 7-41-30, тел.: (34365) 7-40-04, 7-40-03, 7-41-07, 7-33-08  
E-mail: nii@uraltc.ru URL: www.niiasbest.ru

# Факультету химической технологии силикатов – Институту высокотемпературных материалов и технологий РХТУ им. Д. И. Менделеева – 75 лет



В декабре 2008 г. факультет химической технологии силикатов отмечает свое 75-летие.

Один из старейших факультетов знаменитой «Менделеевки» встречает юбилей с новым названием, новыми планами подготовки специалистов и огромным опытом решения научных проблем, связанных с широким спектром неорганических и композиционных материалов. Технология силикатов – важнейшая составляющая технического и строительного материаловедения в настоящее время уже не исчерпывает проблем, которые решаются в технологиях тугоплавких неорганических и силикатных материалов. В настоящее время суть силикатных технологий – физическая химия высокотемпературных материалов и процессов. Это послужило причиной преобразования в мае 2008 г. факультета химической технологии силикатов в Институт высокотемпературных материалов и технологий (ИВМТ).

Институт высокотемпературных материалов и технологий гордится славной историей своего предшественника – факультета химической технологии силикатов. В декабре 1920 г. на базе химического техникума им. Д.И. Менделеева был основан Практический химико-технологический институт им. Д.И. Менделеева. Тогда же была основана кафедра технологии силикатов, которую возглавил профессор Борис Сергеевич Швецов. Таким образом, специальность «технология силикатов» является ровесницей института. До 1930 г. эта кафедра готовила инженеров по всем специальностям силикатного профиля.

В 1930 г. был организован специализированный вуз – Московский институт силикатов и строительных материалов, который располагался на Рождественке, д. 11. В этот вуз перевели силикатчиков из Практического химико-технологического института им. Д.И. Менделеева и кафедру стекла из Института народного хозяйства им. Г.В. Плеханова. В новом вузе было два факультета – технологический и тепломеханический. На технологическом факультете были образованы кафедры общей технологии силикатов (заведующий – профессор Борис Сергеевич Швецов); технологии стекла (заведующий – профессор Исаак Ильич Китайгородский); технологии керамики (заведующий – профессор Егор Иванович Орлов); технологии

вяжущих веществ (заведующий – профессор Владимир Николаевич Юнг); минералогии и сырья (заведующий – профессор Николай Николаевич Смирнов) и технологии новых строительных материалов (заведующий – профессор Родион Михайлович Михайлов).

В декабре 1933 г. в связи с реорганизацией сети высших учебных заведений технологический факультет Московского института силикатов и строительных материалов вновь возвратился в состав Химико-технологического института им. Д.И. Менделеева и был преобразован в факультет Химической технологии силикатов (ХТС). Эту дату и принято считать датой рождения факультета. На факультете были организованы кафедры общей технологии силикатов, стекла, керамики и огнеупоров, технологии вяжущих веществ и кабинет минералогии. Основатели и руководители этих кафедр тоже перешли в МХТИ им. Д.И. Менделеева (так стал называться к тому времени наш институт) и возглавили их.

Уже в первые годы своего существования факультет ХТС и его кафедры стали ведущими в стране в области подготовки специалистов силикатного профиля, в области научных исследований и разработки новых технологий силикатных и других тугоплавких материалов. Основатели кафедр и их сотрудники были тесно связаны с промышленностью. В последующие годы на факультет перевели силикатчиков из Рубежанского технологического института и Московского химико-технологического института легкой промышленности.

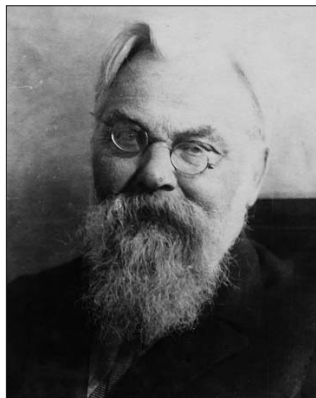
В предвоенные годы на кафедрах факультета были созданы первые в нашей стране учебники и учебные пособия для студентов-силикатчиков, неоднократно переиздававшиеся впоследствии и ставшие классической учебной литературой. Это «Технология керамики и огнеупоров» под редакцией П.П. Будникова (1932); учебники «Введение в физическую химию силикатов» О.К. Ботвинкина (1934); «Оборудование фаянсовой промышленности» И.А. Булавина (1936); «Введение в химию кремния» Б. С. Швецова (1937); «Общая технология силикатов» Ю.М. Бутта, М.А. Матвеева и др. (1937); «Расчеты по технологии стекла» М.А. Матвеева (1938); «Печи и сушилка силикатной промышленности» И.А. Гинзбурга и др. (1939); «Технология стекла» под редакцией И.И. Китайгородского (1939). С 1933 по 1941 гг. кафедры факультета выпустили 652 инженера-технолога для силикатной промышленности.

В годы Великой Отечественной войны многие выпускники и воспитанники факультета ушли на фронт. Выпускнику факультета Алексею Федоровичу Воронову было присвоено звание Героя Советского Союза. Лидия Петровна Морозова, Иосиф Яковлевич Гузман, Виктор Львович Балкевич, Сергей Иннокентьевич Сильвестрович, Рафаил Яковлевич Попильский и другие сражались на фронте и награждены многими орденами и медалями.

Даже в годы войны не прекращалась учебная и научная работа на кафедрах. В октябре–ноябре 1941 г. МХТИ им. Д.И. Менделеева был эвакуирован в г. Коканд Узбекской ССР. Из преподавателей факультета туда выехали



Б.С. Швецов



Е.И. Орлов



Преподаватели факультета химической технологии силикатов на 75-летию Е.И. Орлова (1940 г.).

Справа налево: первый ряд: Г.Г. Сентюрин, Б.С. Швецов, Г.Н. Дудеров, Е.И. Орлов, И.И. Китайгородский, И.Я. Пильский; второй ряд: Ю.М. Бутт, В.Л. Балкевич, Д.Н. Полубояринов, С.Г. Туманов, И.Д. Фолькенштейн, В.К. Дайнека

Ю.М. Бутт, Т.Н. Кешишян, Г.Н. Дудеров, Г.Г. Сентюрин. В трудных условиях они сумели организовать на факультете учебные занятия и проведение ряда научно-исследовательских работ. В марте 1942 г. в Москве был открыт филиал института, в котором на силикатном факультете работали две кафедры – технологии керамики и огнеупоров (заведующий – профессор Дмитрий Николаевич Полубояринов, он же выполнял обязанности декана факультета) и технологии вяжущих веществ (заведующий – профессор Владимир Николаевич Юнг). В марте 1943 г. силикатный факультет вернулся в Москву.

В разные годы факультетом руководили деканы Е.И. Орлов (1933–1934), А.С. Пантелеев (1934–1935), Б.С. Швецов (1935–1936), П.Н. Григорьев (1936–1937), Ю.М. Бутт (1937–1951), Д.Н. Полубояринов (1942–1943, Московский филиал МХТИ), Н.М. Павлушкин (1951–1954), И.А. Булавин (1954–1955), Т.Н. Кешишян (1955–1971), В.В. Тимашев (1971–1976), М.В. Артамонова (1976–1982), П.Д. Саркисов (1982–1984), В.Г. Савельев (1984–1988), Е.С. Лукин (1988–1992), А.В. Беляков (с 1992 г.).

Кафедрами факультета заведовали: *кафедрой общей технологии силикатов* – Б.С. Швецов (1920–1941), М.А. Матвеев (1941–1943), П.П. Будников (1943–1968), Т.Н. Кешишян (1968–1981), М.В. Артамонова (1981–1995), Л.М. Сулименко (с 1995 г.); *кафедрой стекла* – И.И. Китайгородский (1933–1965), Г.Г. Сентюрин (1941–1943), Н.М. Павлушкин (1965–1984), П.Д. Саркисов (с 1984 г.); *кафедрой керамики и огнеупоров* – Е.И. Орлов (1932–1941), Г.Н. Дудеров (1941–1943), Д.Н. Полубояринов (1942–1974), А.А. Майер (1974–1976), А.С. Власов (1976–2008), А.В. Беляков (с 2008 г.); *кафедрой вяжущих материалов* – В.Н. Юнг (1933–1956), Ю.М. Бутт (1941–1943 и 1959–1975), П.П. Будников (1956–1958), А.С. Пантелеев (1958–1959), В.В. Тимашев (1975–1982), В.М. Колбасов (1982), Т.В. Кузнецова (1982–1993), А.П. Осокин (1993–2007), С.П. Сивков (с 2007 г.).

Неоценимый вклад в развитие факультета и кафедр, совершенствование учебной и научно-исследовательской работы внесли преподаватели и научные сотрудни-

ки, имена которых из них широко известны не только среди силикатчиков в нашей стране, но и за рубежом. Профессор Степан Герасимович Туманов читал лекции на факультете, работая одновременно научным руководителем Дулевского красочного завода. По просьбе работников завода его именем названа улица в г. Ликино-Дулево. Имя П.П. Будникова присвоено Всесоюзному научно-исследовательскому институту строительных материалов. Ученые факультета и его выпускники являются основателями многих научных школ. За выдающиеся работы в разных областях химии и технологии силикатов звания лауреатов Ленинской и Государственной премий были удостоены П.П. Будников, И.И. Китайгородский, Н.М. Павлушкин, В.Н. Юнг, М.С. Негинский, П.Д. Саркисов, Т.В. Кузнецова, А.С. Власов. Трое крупных ученых-силикатчиков были избраны в состав АН СССР – члены-корреспонденты АН СССР П.П. Будников, Е.И. Орлов, В.В. Тимашев. П.Д. Саркисов избран академиком РАН. Студентом силикатного факультета был Геннадий Алексеевич Ягодин – член-корреспондент АН СССР, бывший ректор МХТИ им. Д.И. Менделеева, министр высшего и среднего специального образования СССР, председатель государственного комитета СССР по народному образованию. Воспитанник факультета академик П.Д. Саркисов в 1986 г. возглавил МХТИ им. Д.И. Менделеева, а с 2005 г. является президентом Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева.

На факультете всегда большое внимание уделялось повышению квалификации преподавателей и научных сотрудников. За 75 лет существования на факультете химической технологии силикатов подготовлено около 5700 инженеров в области химии и технологии силикатов, в том числе большой отряд специалистов (417 инженеров и 56 кандидатов наук) для многих стран Европы, Африки, Азии и Америки; воспитанниками факультета защищено около 500 кандидатских и более 60 докторских диссертаций.

Подавляющее большинство выпускников факультета достойно трудятся в различных отраслях народного хозяйства, в сфере промышленности и науки. Среди них



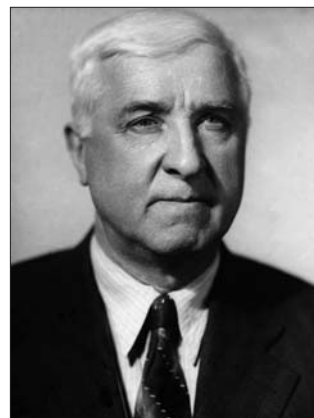
В.Н. Юнг



И.И. Китайгородский



П.Д. Саркисов



Д.Н. Полубояринов

лауреаты Ленинской и Государственной премий, заслуженные деятели науки и техники, орденоносцы. Многие научно-исследовательские институты, заводы, производственные объединения, государственные учреждения возглавляют выпускники факультета. Они сохраняют тесную связь с факультетом и кафедрами, принимая участие в государственных экзаменационных комиссиях, диссертационном совете факультета.

Большие достижения имеют кафедры факультета и в научно-исследовательской работе. На факультете были созданы многие новые технологии и материалы для различных областей народного хозяйства. Учеными факультета впервые получены и внедрены в промышленность такие теперь широко известные материалы, как карбонатные, гидротехнические и новые виды расширяющихся и напрягающих цементов, ангидритовый цемент, алюмомагнезиальные стекла, пеностекло, микролит, ситаллы и шлакоситаллы, сигран, огнеупоры на основе простых и сложных оксидов, новые виды оксидной и бескислородной керамики, карбидокремниевые и хромитлантановые нагреватели, высокоэффективные композиционные материалы и многое другое. Примечательно, что сами названия многих современных материалов вошли в обиход, родившись на силикатном факультете.

Создание ИВМТ на базе факультета ХТС позволило улучшить управление кафедрами и объединить их усилия для решения современных задач, стоящих перед высшей школой и наукой. В области образования нам предстоит переход на двухступенчатую систему бакалавр-магистр в рамках единого направления и специальности. При этом важно не потерять тот огромный положительный опыт, который был накоплен при подготов-

ке инженеров. Необходимо шире применять современные информационные технологии для интенсификации процесса обучения при планируемом сокращении аудиторной нагрузки. Это предполагает широкое применение компьютерных технологий, Интернета, аудио- и видеоинформации. Единая специальность создает предпосылки для тесной координации кафедр в решении этих задач, что удобнее делать в структуре ИВМТ.

Важной задачей является объединение усилий кафедр для проведения крупных научных работ и получения больших грантов, которые не по силам отдельным подразделениям института. При этом предполагается создание межкафедральных научных групп, которые смогут использовать оборудование, находящееся на разных кафедрах.

*В настоящее время в состав ИВМТ входит четыре кафедры: химической технологии стекла и ситаллов, химической технологии керамики и огнеупоров, химической технологии композиционных и вяжущих материалов, общей технологии силикатов.* Кафедры института работают в области физико-химических основ технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов.

*Кафедра химической технологии стекла и ситаллов,* которую возглавляет президент университета академик РАН П.Д. Саркисов, в последние годы занимается созданием и совершенствованием технологий стекол, ситаллов и шлакоситаллов, синтезом и исследованием стекол и ситаллов со специальными свойствами, в частности высокотемпературных ситалловых матриц и жаростойких стеклокристаллических покрытий для авиакосмической техники золь-гель-методом, нанокристаллических материалов с сегнетоэлектрическими свойствами, разработкой стеклоприпоев для металлов, созданием биоактивных стеклокерамических материалов для костных имплантатов. В ИВМТ одним из направлений исследований, которым руководит П.Д. Саркисов, является использование тугоплавких неметаллических и силикатных материалов в медицине.

*Кафедрой химической технологии керамики и огнеупоров* руководит академик Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор химических наук, профессор А.В. Беляков. Кафедра внесла большой вклад в разработку многошамотных огнеупоров, огнеупоров для непрерывной разливки стали, керамики для авиакосмической техники, керметов, нагревателей из SiC и LaCrO<sub>3</sub>, легковесных и ультралегковесных огнеупоров, технической керамики на основе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>, MgO, CaO, Mg<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mg<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ZrO<sub>2</sub>, MeZrO<sub>3</sub> (Me-Ca, Sr, Ba), Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlN, BN, новых технологических процессов и методов исследования керамических материалов. В последние годы кафедра занимается исследованием процесса бактери-



П.П. Будников и Т.Н. Кешишян обсуждают новость в научном мире

альной обработки сырья и керамических масс; созданием технологий высокопрочных керамических материалов на основе  $Al_2O_3$ , в том числе с температурой спекания до  $1450\text{ }^\circ\text{C}$ , прозрачной керамики на основе  $Sc_2O_3$ ,  $Y_2O_3$ , алюмоиттриевого граната с использованием нанопорошков; золь-гель методом гидролиза алкоксидов для получения нанопорошков, золь-гель методом при огеливании солей в поливиниловом спирте для синтеза нанопорошков простых и сложных оксидов:  $Al_2O_3$ ,  $MgAl_2O_4$ ,  $Mg_2SiO_4$ ; разработкой технологии керамических нагревателей из SiC и LaCrO<sub>3</sub>; созданием теоретических основ формования заготовок сложной формы из керамических масс и выбора композиций для водорастворимых технологических связей; разработкой высокотеплопроводной керамики на основе AlN и BN с низким уровнем диэлектрических потерь; пористой керамикой из гидроксипапата для лечения болезней костей; получением керамических материалов на основе  $Si_3N_4$  методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза; применением термодинамики необратимых и неравновесных процессов к технологии керамики.

Кафедрой химической технологии композиционных и вяжущих материалов руководит кандидат технических наук, доцент С.П. Сивков. Кафедра занимается исследованием физико-химических процессов синтеза и твердения новых видов вяжущих материалов, исследованием кинетики и катализа процессов спекания цементного клинкера, разработкой теоретических основ и технологии напрягающих и расширяющихся цементов, тампонажных цементов, биоактивных цементов, нанотехнологий вяжущих материалов, вяжущих для дорожных покрытий, созданием высокоэффективных пластификаторов для цементных растворов и бетонов и т. д. На базе кафедры создан Научно-технический центр, оснащенный современными приборами. Центр тесно связан с цементной отраслью России, выполняет исследования по разработке новых композиционных материалов, проводит повышение квалификации работников цементных заводов.

Кафедрой общей технологии силикатов руководит академик Российской инженерной академии, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор Л.М. Сулименко. На кафедре проходят обучение все студенты института. В настоящее время на кафедре также слушают лекции студенты факультета естественных наук, а также студенты, обучающиеся по направлению «Материаловедение и технология новых материалов», которые выбрали для своей дипломной работы область технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов.

Много внимания кафедры факультета уделяют решению экологических проблем: созданию более экологически чистых технологий силикатных изделий, использованию силикатных материалов для решения экологических задач (керамические мембраны, носители катализаторов и т. д.), применению отходов промышленности, в том числе многотоннажных, для производства строительных материалов, захоронению вредных отходов в силикатных материалах.

Все кафедры факультета участвуют в подготовке методик выпускных квалификационных работ бакалавров и магистров по направлению «Материаловедение и технология новых материалов».

На факультете с 1991 г. действует отделение подготовки инженеров в сокращенные сроки, которым руководит кандидат технических наук, доцент Виктор Викторович Большов. Туда принимают выпускников техникумов, готовящих специалистов для промышленности строительных материалов. Полученные в техникуме знания позволяют в течение трех лет освоить программу подготовки по специальности «Хими-



Н.М. Павлушкин (справа)



А.В. Беляков

ческая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов». Выпускники отделения успешно трудятся на заводах промышленности строительных материалов.

С 1995 г. на факультете действует высший колледж «Технический дизайн изделий из силикатных материалов». Руководит им кандидат технических наук, доцент Александр Иванович Захаров. Колледж выпускает инженеров-технологов с художественной подготовкой. Его выпускники умеют моделировать и изготавливать красивые и технологичные изделия из стекла, керамики и вяжущих материалов с использованием компьютеров и самых современных технологий. Такие специалисты обладают высокой конкурентоспособностью на современном рынке.

В 1997 г. РХТУ им. Д.И. Менделеева и Институт общей физики РАН создали Учебно-научный центр перспективных материалов и технологий. Руководителями центра являются академик РАН П.Д. Саркисов и директор Научного центра лазерных материалов и технологий ИОФ РАН академик РАН В.В. Осико. В центр вошли пять кафедр: химии и технологии кристаллов, химической технологии стекла и ситаллов, химической технологии керамики и огнеупоров, химической технологии композиционных и вяжущих материалов, проблем устойчивого развития. Они дали возможность студентам прослушать дополнительные курсы лекций, которые им читают преподаватели РХТУ и ученые институтов РАН. Академия наук предоставляет студентам свои лаборатории и уникальное оборудование для выполнения научных работ.

В 1989 г. в жизни факультета произошло знаменательное событие: факультет получил отдельный корпус в Тушино. Сотрудники факультета приложили много сил для оснащения современным оборудованием и приборами новых учебных аудиторий и научно-исследовательских лабораторий.

Как и вся наша страна, мы испытываем трудности. Трудно студентам, трудно сотрудникам и преподавателям, хотя ростки надежды начинают появляться. Мы, как и многие другие, нуждаемся в средствах и спонсорах. Мы надеемся на поддержку наших выпускников, поскольку уверены, что без науки и образования у нашей страны не будет светлого будущего. Мы продолжаем развивать новые направления.

Славный 75-летний юбилей факультет химической технологии силикатов – Институт высокотемпературных материалов и технологий Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева встречает новыми успехами в учебной и научной деятельности и с оптимизмом смотрит в будущее.

А.В. Беляков, директор ИВМТ

УДК 69.025.334.2

Н.Т. АНДРИАНОВ, канд. техн. наук, М.С. ТИМОФЕЕВА, РХТУ им. Д.И. Менделеева;  
 П.К. ГУРЕВИЧЕВ, ген. директор, В.Ф. БОГАЧЕВА, нач. лаборатории,  
 Катуаровское ООО «Дмитровская плитка» (п. Некрасовский  
 Дмитровского р-на Московской обл.)

## **Повышение технических характеристик напольных плиток**

*Кафедра химической технологии керамики и огнеупоров начиная с момента своего образования во главу угла своей деятельности ставила непосредственную связь с промышленностью. Это касалось как учебного процесса (подготовка направленных с предприятий специалистов, выполнение заказа по распределению, направление студентов на лучшие предприятия для прохождения практики и т. д.), так и научных работ, которые зачастую выполнялись непосредственно на предприятии с учетом его интереса и при участии его работников. Одним из плодов сотрудничества Катуаровского ООО «Дмитровская плитка» и кафедры ХТКиО является эта статья.*

Керамическая плитка – один из древнейших строительных материалов, насчитывающий более чем тысячелетнюю историю и продолжающий при этом совершенствоваться из года в год. Несмотря на появление различных современных материалов, использование керамической плитки по-прежнему остается наиболее практичным способом создания красивой и водоотталкивающей поверхности. Высокие декоративно-художественные возможности керамических плиток в сочетании с хорошими физико-механическими свойствами, недефицитность исходного сырья и сравнительно невысокая себестоимость позволили им занять ведущее положение в широкой гамме строительных отделочных материалов [1].

Особое место в ассортименте керамических плиток занимают плитки, которые используют для настила полов в промышленных, жилищно-бытовых и общественных зданиях с высокими требованиями к чистоте (больницы, лаборатории, школы, санитарные узлы), с возможными воздействиями жиров и других химических реагентов (цеха химических производств, мясокомбинатов), с интенсивным движением (лестничные клетки, вокзалы, торговые залы) и в помещениях, где материал для полов служит также декоративным элементом в архитектурном оформлении (вестибюли общественных зданий, гостиниц и др.). Иногда неглазурованные плитки применяются даже для футеровки химической аппаратуры.

Непрекращающееся совершенствование технологии плиточного производства в различных странах в условиях высокой конкуренции и рыночных отношений направлено прежде всего по пути создания гибких производств, способных выпускать продукцию в большом ассортименте и по приемлемой цене при условии максимальной автоматизации технологических процессов. Большое внимание уделяется расширению сырьевой базы в направлении использования нетрадиционных сырьевых материалов, разработке промышленного освоения принципиально новых способов обогащения минерального сырья и введению в состав керамических масс природных добавок сложного состава, открывающих новые возможности в создании энерго- и ресурсосберегающих технологий керамической промышленности [2–6].

Актуальными остаются вопросы совершенствования технологии и составов шихты для производства плитки, направленные на улучшение технических характеристик продукции. Катуаровское ООО «Дмитровская плитка» в этом отношении не является исключением.

Однократный обжиг напольной плитки на этом предприятии в настоящее время осуществляется при температуре около 1200°C. Известно, что обжиг изделий, являясь решающей операцией в производстве керамики, в значительной степени определяет качество готовой продукции. Расходы на обжиг составляют более 25% в статьях себестоимости изделий, и сокращение этих затрат представляет важную и актуальную задачу.

Шихтовой состав плиточной массы, содержащей, мас. %: краснополянкой глины – 50, милославской глины – 20, вишневогорского полевого шпата – 20 и кварцевого песка – 10, иногда претерпевает изменения, связанные то с недостаточным качеством отдельных компонентов и необходимостью их замены, то с дефицитностью некоторых видов сырья. Однако эти изменения не только не позволяют хоть сколько-нибудь снизить температуру обжига, но и зачастую ухудшают технические характеристики продукции.

В связи с этим главной целью работы является поиск решений, способствующих снижению температуры спекания массы для напольных плиток, при сохранении основных технических свойств изделий. Это позволит не только уменьшить расход топлива, но и улучшить условия службы действующих печных агрегатов, увеличив тем самым их межремонтный период. Возможен другой аспект поставленной задачи: улучшение некоторых технических характеристик продукции, в первую очередь плотности и прочности как показателей, влияющих на стираемость напольной плитки, без изменения и тем более повышения существующей температуры обжига.

Одним из решений поставленной задачи предлагается увеличение степени дисперсности непластичных компонентов – полевого шпата и песка. Более тонкий помол плавня будет ускорять образование жидкой фазы и повышать равномерность ее распределения среди других компонентов. При повышении дисперсности песка

**Таблица 1**

Материал	Диаметр частиц, мкм, после помола в течение, ч*					
	5	8	9	10	11	12
Песок	21,6/4,61	13,6/3,85	10,9/3,57	10,75/3,57	8,75/3,15	5,55/2,73
Полевой шпат	17,2/8,5	12,7/7	11,7/4,5	8,7/4	7,4/3,8	4,7/3,5
Тальк	15,2/3,64	9,3/2,65	12,2/2,94	7,85/6,36	5,85/2,5	5,8/2,79

\* Перед чертой средний диаметр, за чертой – среднегеометрический.

Таблица 2

Дисперсность компонентов	Количество талька, %	Условия получения шликера	Индекс массы
Обычная	–	Производственные	П
Обычная	–	Лабораторные	Л
Обычная	3	Лабораторные	Л Т-3
Обычная	5	Лабораторные	Л Т-5
Обычная	7	Лабораторные	Л Т-7
Высокая	3	Лабораторные	ЛМ Т-3
Высокая	5	Лабораторные	ЛМ Т-5
Высокая	7	Лабораторные	ЛМ Т-7

**Примечание.** П – шликер, приготовленный в производственных условиях; Л – в лабораторных условиях; М – молотый материал; Т – введен тальк.

его растворение в полевошпатовом расплаве будет происходить интенсивнее и при более низких температурах, что должно способствовать увеличению количества жидкой фазы. Высокая дисперсность компонентов шихты, способствуя повышению поверхностной энергии системы и тем самым движущей силы спекания, может интенсифицировать этот процесс.

Другое предлагаемое решение связано с изменением шихтового состава путем введения добавки талька, который, являясь сильнейшим плавнем, может существенно повлиять на спекаемость используемых составов. Однако введение его должно быть ограничено соображениями как экономического (повышенная стоимость), так и технологического характера (при спекании он образует маловязкую жидкую фазу, что может привести к деформации изделия). При этом предполагается вводить тальк как в высокодисперсном (дополнительно измельченном) виде, так и приготовленным по обычной технологии с соответствующей степенью дисперсности.

В настоящее время на заводе проводится совместный помол компонентов шихты до остатка на сите № 0063 (9428 отв/см<sup>2</sup>) 3–4%, при этом максимальный размер частиц составляет 60–70 мкм. Для повышения степени дисперсности намечено увеличение продолжительности помола. В качестве размера, до которого следует измельчать материалы, принято значение 40 мкм, что, с одной стороны, позволит увеличить поверхность частиц, а значит, и свободную энергию системы, примерно в 1,5 раза, с другой стороны, даст возможность упрощенно и оперативно контролировать дисперсность с помощью сита, предельно малый размер ячеек которого соответствует 40 мкм (20450 отв/см<sup>2</sup>).

Изучена динамика помола каменистых компонентов, что позволило определить оптимальную его продолжительность для достижения частицами размеров не более 40 мкм. При изучении динамики помола каменис-

тые материалы (каждый в отдельности) загружали в фарфоровый барабан и измельчали мокрым способом при соотношении М : Ш : В = 1 : 1,5 : 1. В процессе 12-часового помола отбирали пробы через 5, 8 и далее через каждый час. После сушки и небольшого дезагрегирования определяли размер частиц под микроскопом в соответствующей иммерсионной жидкости.

По данным гранулометрического анализа построены дифференциальные и интегральные кривые, а также рассчитаны средний диаметр частиц  $d_{cp}$  и среднегеометрический диаметр  $d_{ср.м}$ . Численные значения средних размеров приведены в табл. 1.

Из анализа интегральных кривых (рис. 1–3) выявлено, что для достижения частицами размеров, не превышающих 40 мкм, необходимо проводить помол песка и полевого шпата в течение 11 ч, талька в течение 8–9 ч.

Подготовку экспериментальных составов проводили в лабораторных условиях, максимально приближая ее к

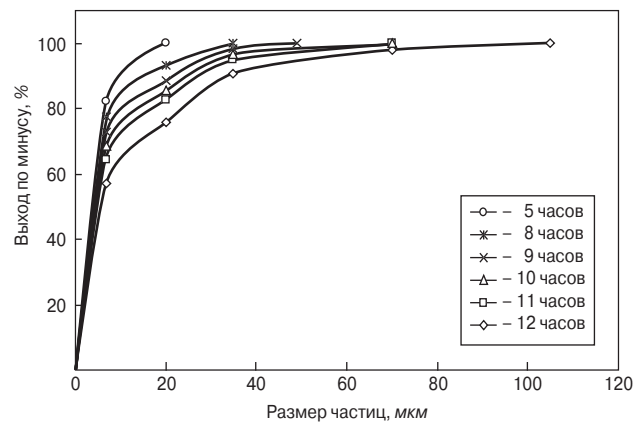


Рис. 2. Интегральные кривые зернового состава полевого шпата

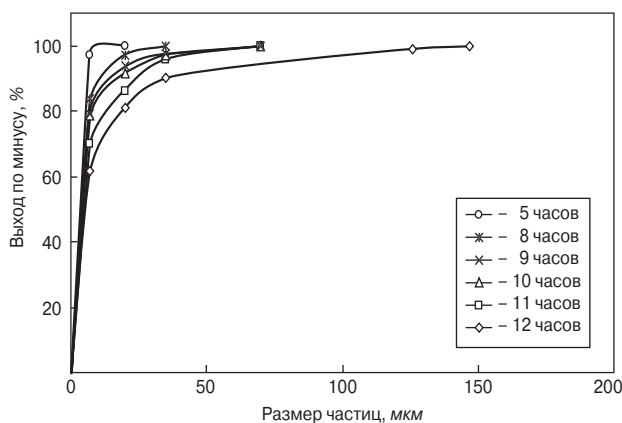


Рис. 1. Интегральные кривые зернового состава песка

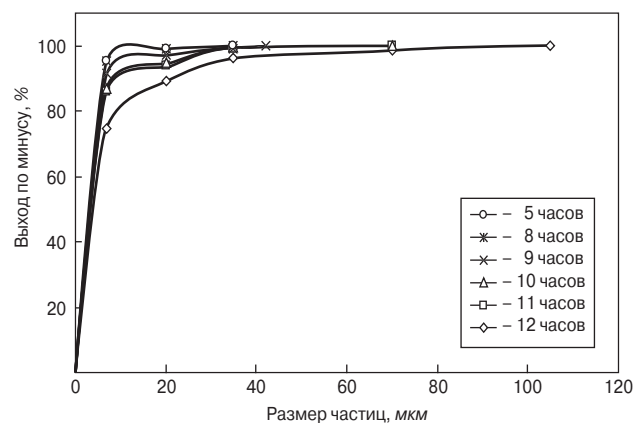


Рис. 3. Интегральные кривые зернового состава талька

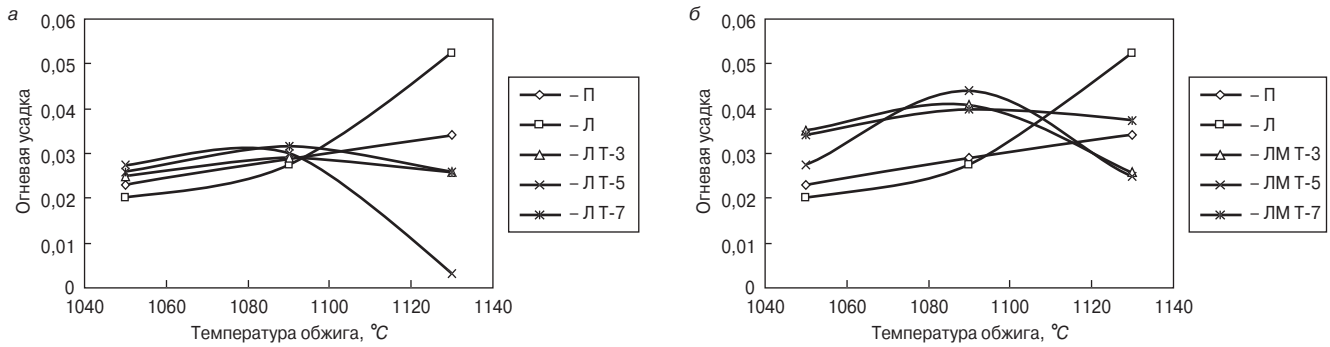


Рис. 4. Спекаемость керамических масс обычной (а) и высокой (б) дисперсности

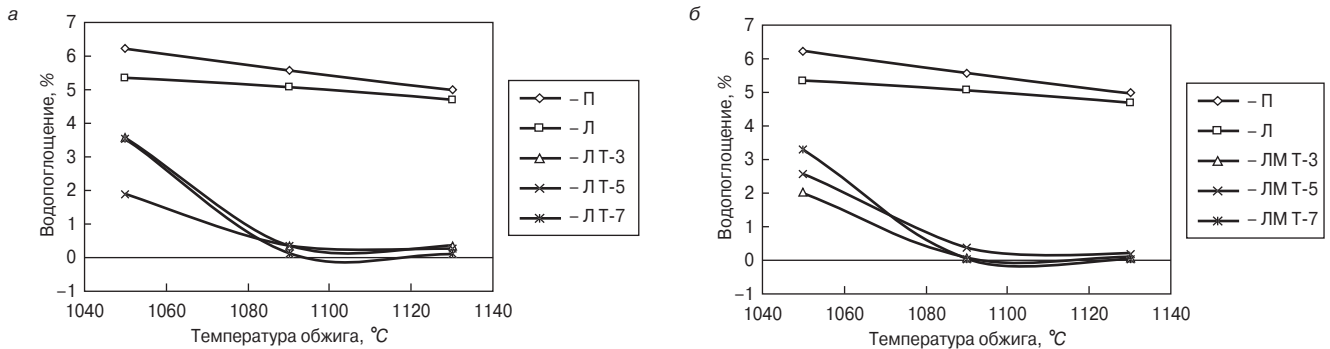


Рис. 5. Водопоглощение керамических масс обычной (а) и высокой (б) дисперсности

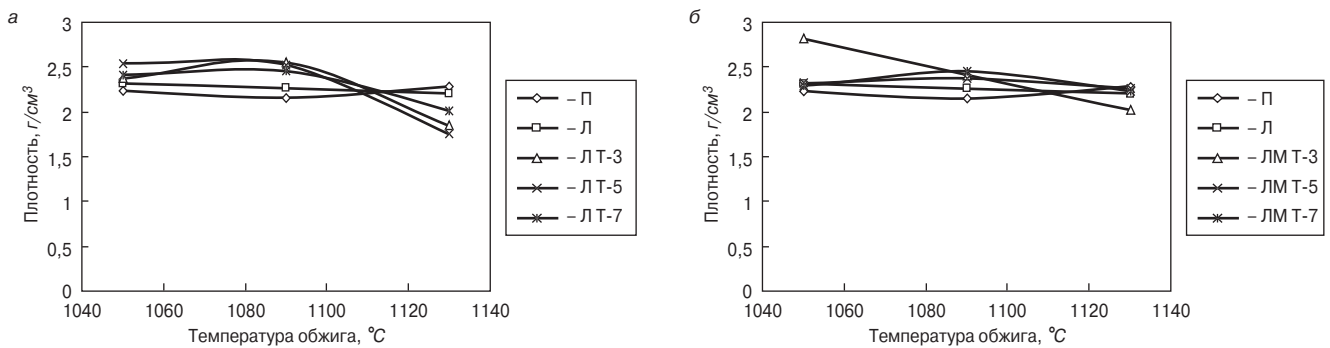


Рис. 6. Средняя плотность керамических масс обычной (а) и высокой (б) дисперсности

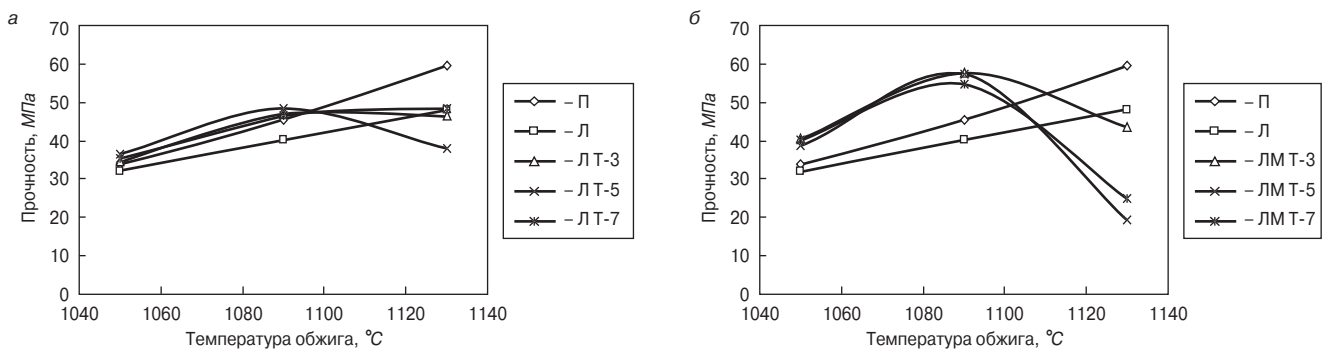


Рис. 7. Прочность обожженных керамических масс обычной (а) и высокой (б) дисперсности

производственной технологии. Совместный мокрый помол в течение 8 ч (соотношение материал: шары составляло 1:1,5) или смешивание в течение 0,5 ч (для предварительно молотых каменистых материалов) осуществляли в 5-литровых фарфоровых барабанах. Тальк как в предварительно молотом, так и в немолотом виде вводили в экспериментальные составы в количестве 3; 5 и 7%. Количество воды добавляли исходя из влажности 40%. Для снижения вязкости шликера добавляли несколько капель жидкого стекла.

Для проведения сравнительной оценки в работе наряду с опытными составами использовали шликер, полученный в производственных условиях, а также в лабораторных условиях по заводскому рецепту. Индексация опытных образцов, вид и количество добавок приведены в табл. 2.

Полученный шликер процеживали через сито № 0075 и на поддонах сушили до влажности 6% в сушильном шкафу при температуре 100–110°C. После измельчения в фарфоровой ступке и трехкратного протиравания через сито



№ 1 полученный пресс-порошок выдерживали не менее часа в закрытой емкости для усреднения влажности. Образцы в виде балочек размером 4×4×40 мм формовали методом полусухого прессования в стальных формах на гидравлическом прессе при удельном давлении 30 МПа.

Изучение спекаемости образцов проводили в лабораторной печи с хромитлантановыми нагревателями, максимальная температура обжига составляла 1050–1130°C с шагом в 40°C. При этом учитывали, что эти температуры не соответствуют принятым в заводской практике, где, во-первых, используется другой печной агрегат (роликовая печь), во-вторых, осуществляется скоростной нагрев и, в-третьих, по массе опытные образцы существенно меньше плитки. Однако сравнение между собой различных масс, обожженных в одинаковых условиях, вполне правомерно.

Установлена зависимость спекаемости (рис. 4), водопоглощения (рис. 5) и средней плотности (рис. 6) от средней дисперсности используемых компонентов и количества вводимого талька. Для масс обычной дисперсности усадка как производственной, так и приготовленной в лабораторных условиях с ростом температуры увеличивается. При введении в массу талька отмечается оптимум при температуре 1090°C, после которого усадка уменьшается. Такой же оптимум можно отметить и для высокодисперсных масс, при этом значение усадки заметно выше, чем у обычных масс.

Влияние степени дисперсности и состава массы на керамические показатели более существенно, чем на огнеую усадку. Добавка талька в значительной степени нивелирует влияние степени дисперсности масс, другими словами, при введении талька массы можно не доводить до высокой степени дисперсности.

Установлено, что после обжига при температуре 1090°C образцы с добавкой талька независимо от степени его помола имеют более высокую плотность и пониженное водопоглощение по сравнению с образцами, полученными из производственного и лабораторного шликера. Максимальной плотности при данной температуре можно достичь введением 5% талька. Полученный результат является положительным, так как при производстве плитки стараются снизить такой параметр, как водопоглощение, и повысить плотность.

Прочность образцов из производственной массы с ростом температуры закономерно увеличивается, в то же время для составов с добавками талька отмечено наличие максимума при 1090°C (рис. 7). Снижение прочности связано с интенсивным ростом кристаллов муллита и свидетельствует о начале пережога экспериментальных образцов с добавками талька.

Такой результат тоже можно считать положительным, поскольку при более низкой температуре (на 40°C) достигаются значения прочности, превышающие прочностные показатели образцов без добавок. Сравнение, естественно, идет для образцов, приготовленных в одинаковых, т. е. лабораторных, условиях. Причем использование дополнительно молотых каменистых компонентов повышает прочностные показатели примерно на 15–20%.

#### Выводы

1. Дополнительное измельчение каменистых компонентов до крупности менее 40 мкм способствует улучшению спекаемости плиточной массы и свойств напольной плитки. Температура обжига масс с высокодисперсными компонентами может быть снижена примерно на 40–50°C по сравнению с производственной массой.

2. Для достижения дисперсности, соответствующей размеру частиц не более 40 мкм, песок и полевой шпат необходимо измельчать 11 ч, а тальк 8 ч.

3. Добавка талька в количестве 3–7% в плиточную массу способствует увеличению огневой усадки, уменьшению водопоглощения и повышению механической прочности. Это влияние более заметно для масс обычной дисперсности.

4. Выявлено, что добавка талька, оптимально способствующая улучшению спекаемости плиточных масс, должна составлять 5%. При этом температура обжига может быть снижена на 40–50°C по сравнению с производственной массой.

5. Для улучшения показателей технических свойств напольной плитки и для снижения температуры спекания плиточных масс можно рекомендовать дополнительный помол каменистых материалов либо добавку талька в количестве не более 5%. Одновременное использование этих двух факторов не усиливают друг друга.

#### Список литературы

1. Канаев В.К. Новая технология строительной керамики. М.: Стройиздат, 1990. С. 9–10.
2. Ильина В.П., Лебедева Г.А. и др. Влияние тальково-хлоритовых сланцев на свойства керамической плитки // Стекло и керамика. 2005. № 11. С. 26–30.
3. Заявка 1529763 ЕВП. МПК7 С 04 В 35/185, С 04 В 35/453. Centre de Recherche de l'Ind. Belge de la Ceramigue, Inst. РЖХ 06.09-19М.160П.
4. Гончаров Ю.И., Руденко Т.С. и др. Использование «синих глин» Малоархангельского месторождения в производстве керамических плиток // Стекло и керамика. 2006. № 2. С. 26–30.
5. Youssef N.F., Osman T.A. Silicat ind - 2004. № 1–2. С. 7–13.
6. Tile and Brick. 2002.18. № 6. С. 358–363 (03.22-19М.127).

## специальная литература

### «Практикум по технологии керамики»

Авторы – коллектив ученых РХТУ им. Д.И. Менделеева: Н.Т. Андрианов, А.В. Беляков, А.С. Власов, И.Я. Гузман, Е.С. Лукин, М.А. Мальков, Ю.М. Мосин, Б.С. Скидан.

Лабораторные работы описаны в соответствии с действующими стандартами. Изложение методик проводимых экспериментов предваряет краткое описание теоретических положений, на которых основана экспериментальная работа.

В разделе «Добожиговые свойства и характеристики» приводятся методики: отбора средней пробы, определения влажности, пластичности, чувствительности к сушке, зернового состава, прессуемости пресс-порошков и вязкости шликеров, воздушной, огневой и полной усадки. В разделе «Свойства обожженных изделий» подробно изложены методики определения плотности, прочности при сжатии, растяжении и изгибе, твердости, модуля упругости, термической стойкости, электрофизических свойств, а также специфических свойств: белизны, просвечиваемости, морозостойкости. Пособие может быть использовано не только как учебное, но и в качестве полезного руководства для инженеров заводских и научно-исследовательских лабораторий.

ПРАКТИКУМ  
ПО ТЕХНОЛОГИИ  
КЕРАМИКИ

Под редакцией  
И.Я. Гузмана

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

Тел: (495) 976-22-08, 976-20-36 E-mail: mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

И.Н. ТИХОМИРОВА, канд. техн. наук,  
Т.В. СКОРИНА, инженер, РХТУ им. Д.И. Менделеева (Москва)

## Теплоизоляционные материалы на основе кремнеземсодержащего сырья

В настоящее время российский рынок теплоизоляционных материалов представлен пенопластами, пеностеклами, пенобетонами, газобетонами. Пенопласты имеют низкую теплопроводность ( $\lambda = 0,03-0,05$  Вт/(м·К)), но их применение в строительстве приводит к существенному снижению пожарных и экологических характеристик сооружений. Прочность этого материала небольшая, температурная область применения ограничена.

Широкое распространение получили минеральные теплоизоляционные материалы на основе цемента. В сложившихся условиях дефицита портландцемента в России, а также вследствие общей тенденции к снижению затрат энергии на производство возникает необходимость поиска альтернативных вяжущих систем, на базе которых в результате естественного твердения или незначительной тепловой обработки можно получать высокопористые материалы с низким удельным весом и низкой теплопроводностью.

Сотрудники кафедры общей технологии силикатов в течение пяти лет проводили исследования, посвященные разработке теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных строительных материалов с использованием комплексного связующего на основе жидкого стекла и кремнефтористого натрия ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ). В качестве легкого заполнителя использовали волластонит или цеолитсодержащий трепел. Такой выбор вяжущей системы основан на том, что связующей основой в ней является легкий и высокопористый ксерогель кремниевой кислоты, который обладает низкой теплопроводностью, а легкие заполнители имеют близкую химическую природу, что обеспечивает более прочное сцепление частиц с матрицей. Кроме того,

жидкое стекло при механическом перемешивании дает достаточно устойчивую пену, однако кратность пены невысока.

В связи с этим вначале подбирали пенообразователи, подходящие к вяжущей системе. На рынке в основном представлены пенообразователи, ориентированные на применение в цементных растворах. Многие из них оказались недостаточно эффективными в более щелочной среде жидкого стекла. По результатам лабораторных исследований лучшие результаты показал пенообразователь марки ПБ-2000, кратность пены 5–7 (в зависимости от дозировки и доли заполнителя), время устойчивости пены не менее 1 ч, плотность пенообразователя при 20°C – 1000–2000 кг/м<sup>3</sup>.

Были приготовлены составы, содержащие натриевое жидкое стекло (модуль = 2,9; плотность 1300 и 1350 кг/м<sup>3</sup>) и трепел Хотынецкого месторождения в следующих соотношениях: 1:0,82; 1:0,33 и 1:0,5; отвердитель связующего – кремнефтористый натрий – 15% от массы жидкого стекла; количество пенообразователя составило 3% от массы связующего.

Пеномассу получали смешиванием жидкого стекла с пенообразователем с последующей добавкой отвердителя. Затем вводили легкий заполнитель – трепел или волластонит. Пеномассой заполняли стандартные металлические формы размером 1×1×3 см и 4×4×16 см, а также пластиковые формы размером 12×22×5 см. Твердение образцов проходило по двум температурным режимам.

1. Твердение при комнатной температуре (не ниже 150°C) в течение 7 сут. Перед определением теплопроводности при 100°C образцы досушивали до постоянной массы.

Таблица 1

№	Состав материала	Расход компонентов, мас. %	Режим твердения	$\rho_{\text{каж}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_0$ , %	W, %	$R_{\text{изг}}$ , МПа	$R_{\text{сж}}$ , МПа	$K_p$	$\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
1	Натриевое жидкое стекло $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ Трепел Пенообразователь	50 7,5 41 1,5	1	1330	36,33	24,8	1,7	3,68	0,44	0,25
			2	1250	43,83	37	1,81	3,48	0,43	0,279
2	Натриевое жидкое стекло $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ Трепел Пенообразователь	66 10 22 2	1	1010	48,49	55,52	0,89	3,29	0,51	0,232
			2	780	48,45	57,87	0,75	1,63 усадка	0,69	0,27
3	Натриевое жидкое стекло $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ Трепел Пенообразователь	60 9 28 1,8	1	910	48,63	59,1	0,84	0,79 усадка	0,5	0,225
			2	830	48,36	60,2	0,81	2,63	0,58	0,215

Таблица 2

Характеристика	Марка волластонита	
	ВК-2	ВК-3
<i>Лазерная гранулометрия</i>		
Средний размер частиц, мкм		
По объему	57,7	23,2
По площади	13,6	6,2
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	151,3	334,8
<i>Оптический анализ</i>		
Средняя длина, мкм	37	15
Соотношение L/D	6	5
<i>Ситовой анализ</i>		
Фракция, мкм	Содержание фракции по длине, %	
500–315	0	0
315–200	1,4	0
200–100	8,3	0,7
100–71	4,1	3,7
71–45	5,5	3,7
45–20	50,3	30,9
20–10	17,3	13,2
10–5	13,1	14,7
5–0	0	33,1

Таблица 3

Состав		Свойство теплоизоляционного материала			
Марка волластонита	Жидкое стекло	R <sub>сж</sub> , МПа	R <sub>изг</sub> , МПа	ρ, кг/м <sup>3</sup>	λ, Вт/(м·К)
ВК-2	Na <sub>2</sub> O·SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	2,48	1,64	490	0,137
ВК-3	K <sub>2</sub> O·SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	2,67	2,79	450	0,151
ВК-3	Na <sub>2</sub> O·SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	2,22	1,58	420	0,167

проводность (λ); коэффициент размягчения (K<sub>p</sub>), характеризующий водостойкость (отношение прочности при сжатии водонасыщенного образца к прочности при сжатии сухого образца).

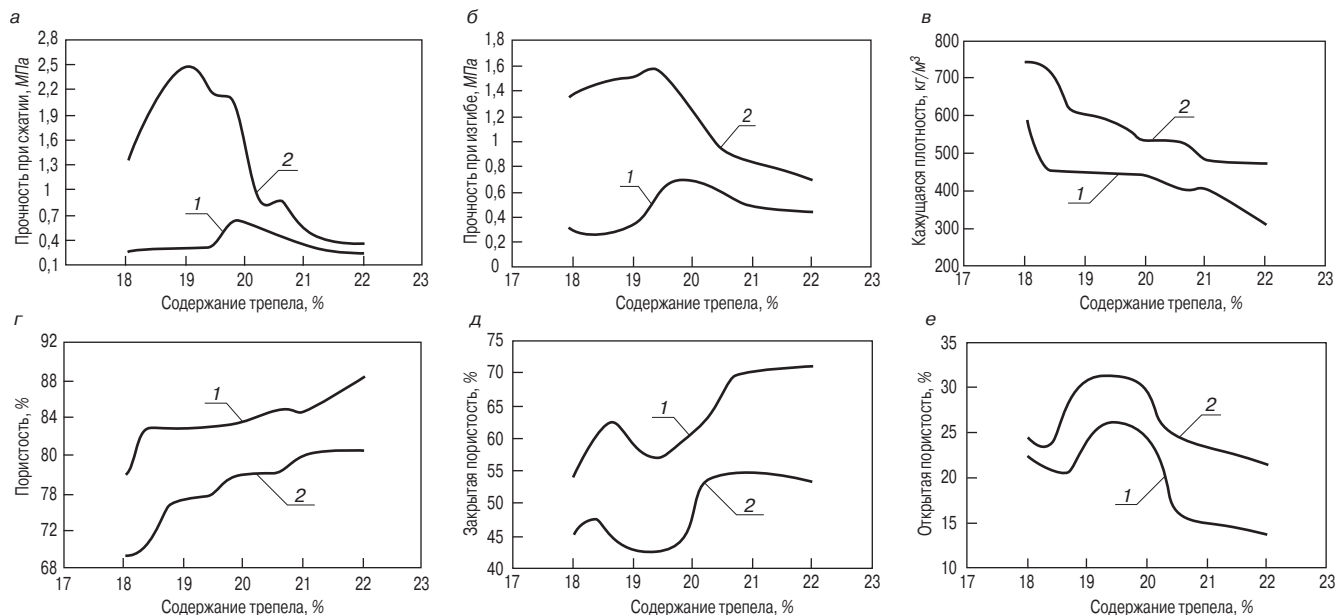
В результате предварительных исследований удалось получить легкие материалы, которые в соответствии с ГОСТ 25485–89 «Бетоны ячеистые. Технические условия» можно отнести к конструктивно-теплоизоляционным по соотношению прочностных характеристик, плотности и теплопроводности. Высокое водопоглощение (до 60%) характерно для подобных лиофильных высокопористых систем на основе трепела и высокопористого ксерогеля кремниевой кислоты и обусловлено преобладанием в структуре материала открытых сообщающихся пор, что является наиболее существенным недостатком полученной теплоизоляции.

Высокий коэффициент размягчения свидетельствует об устойчивости материала к действию воды. Даже при кипячении в течение 4 ч не наблюдали заметного растворения, грани и форма образцов практически не менялись, падение прочности в водонасыщенном состоянии относительно сухих образцов оптимальных составов не превышало 40%.

В целях оптимизации составов полученных материалов исследовали влияние соотношения жидкое стекло:трепел на теплопроводность материала. Содержание трепела оказывает несущественное влияние на теплопроводность: при изменении содержания трепела от 18 до 22% теплопроводность меняется от 0,1 до 0,14 Вт/(м·К) (соста-

2. Термообработка при 70–100°C в течение 4 ч, затем выдержка образцов в течение 4 ч при 200°C.

В табл. 1 представлены основные характеристики материалов: кажущаяся плотность (ρ<sub>каж</sub>); открытая пористость (Π<sub>о</sub>), определяемая по водопоглощению; прочность при сжатии (R<sub>сж</sub>) и при изгибе (R<sub>изг</sub>); тепло-



Свойства материала в зависимости от содержания трепела и плотности жидкого стекла (1 – ρ = 1300 кг/м<sup>3</sup>; 2 – ρ = 1350 кг/м<sup>3</sup>): а – прочность при сжатии; б – прочность при изгибе; в – кажущаяся плотность; г – пористость; д – закрытая пористость; е – открытая пористость

вы, затворяемые жидким стеклом с плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup> и от 0,82 до 0,115 Вт/(м·К) (составы, затворяемые жидким стеклом с плотностью 1,35 г/см<sup>3</sup>). Такая особенность обусловлена тем, что коэффициенты теплопроводности трепела и ксерогеля кремниевой кислоты отличаются незначительно, поскольку вещества близки по химическому составу и структуре.

Заметное влияние на все характеристики оказывает плотность жидкого стекла. На рисунке показано, что использование разбавленных стекол приводит к повышению пористости и снижению плотности материала, а следовательно, к снижению теплопроводности. Одновременно снижается прочность образцов, что отрицательно сказывается на качестве теплоизоляционных материалов. Оптимальными являются составы, содержащие 19–20% трепела. При увеличении количества трепела более 20% происходит снижение прочности, что, вероятно, связано с недостаточным содержанием связующего и образованием более рыхлых материалов. Прочность материала зависит от плотности жидкого стекла: чем выше плотность жидкого стекла, тем прочнее материал.

С увеличением содержания трепела кажущаяся плотность материала снижается, что обусловлено меньшим значением плотности цеолитизированного трепела по сравнению с силикатной связкой. Такое предположение подтверждается и данными по влиянию количества заполнителя на суммарную пористость – она возрастает с ростом более пористой фазы заполнителя (см. рисунок).

В табл. 2 приведен гранулометрический состав волластонита ВК-2 и ВК-3, произведенного ООО «Нева Инжиниринг».

Образцы, приготовленные на натриевом и калиевом жидких стеклах (плотность 1350 кг/м<sup>3</sup>) по описанной

технологии, содержали 15% отвердителя (Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>) и 3% пенообразователя ПБ-2000 от массы жидкого стекла. Технологические характеристики полученных композиций приведены в табл. 3.

Использование волластонита в качестве заполнителя способствует повышению прочностных характеристик и снижению теплопроводности материала по сравнению с композициями, содержащими трепел. Лучшие результаты были получены при использовании волластонита ВК-2. Природа катионорастворимых силикатов оказывает существенное влияние на характеристики материала: замена натриевого стекла калиевым позволяет на 10% понизить теплопроводность и увеличить прочность при изгибе на 75%, а прочность при сжатии на 20%. Таким образом, для получения теплоизоляционных материалов по предложенной технологии предпочтительно использование калиевого жидкого стекла.

Конструктивно-теплоизоляционные материалы на основе жидкого стекла являются перспективными строительными материалами и представляют большой интерес в условиях сложившегося дефицита цементного вяжущего, причем технология их получения проста и не предполагает высоких капитальных затрат. При производстве может быть использовано оборудование, используемое в технологии пенобетона. Предлагаемые теплоизоляционные материалы могут быть использованы как альтернатива традиционным легким бетонам и пенобетонам, поскольку при сопоставимых прочностных показателях они имеют меньшую теплопроводность. В отличие от пенопластов они негорючи и более прочные. По своим основным теплотехническим и строительно-техническим показателям они сопоставимы с пеностеклом, но имеют меньшую себестоимость и более простой технологический цикл.

## Российские промышленные эллиптические шаровые мельницы "Активатор" интенсивного помола.

	Activator-C100	Activator-C500	Activator-C1000	Activator-C5000
произв-сть	100 кг/ч	500 кг/ч	1000 кг/ч	5000 кг/ч
тонина помола	1-3 мкм	4-7 мкм	20-50 мкм	50-70 мкм
потребляемая мощность	5,5 кВт/ч	11 кВт/ч	22 кВт/ч	55 кВт/ч
габариты, мм	1020×570×1230	1122×750×1500	1710×925×1815	2850×1700×2950
вес, кг	170	650	1300	5100

подготовка шихты для керамической плитки

помол пигментов

получение сухих смесей

активация цемента

смешение компонентов пенобетона

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

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

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

Новосибирск, Софийская, 18, оф. 107  
630056, Новосибирск, 56, а/я 141  
Факс: 8 (383) 345-15-30 (доп. 210)  
Тел: 8 913 942 94 81  
e-mail: eugene@activator.ru

Реклама

Т.В. КУЗНЕЦОВА, д-р техн. наук, РХТУ им. Д.И. Менделеева (Москва),  
Ю.Р. КРИВОБОРОДОВ, д-р техн. наук, И.Ю. БУРЛОВ, канд. техн. наук,  
НАЦ ОАО «Подольск-Цемент» (г. Подольск Московской обл.)

## Основные направления в химии и технологии специальных цементов

Специальные цементы – это вяжущие вещества, имеющие характеристики, отличающиеся от показателей обычного портландцемента и применяющиеся в различных областях техники, где портландцемент по своим свойствам не обеспечивает необходимое качество изделий и сооружений.

Специальные цементы представляют научный и практический интерес. Их изучение позволяет лучше понимать природу вяжущих свойств традиционных цементов, а практическое применение приводит к возможности использования не только в строительстве, но и в других отраслях техники. Поэтому во многих странах производство специальных цементов постоянно увеличивается. В основном получение этих цементов осуществляется двумя способами – модифицированием портландцементного клинкера путем использования различных добавок или получением специальных клинкеров с добавкой (или без), обуславливающих получение цементов с заданными свойствами. Ассортимент специальных цементов постоянно расширяется, причем в последние годы наметилась тенденция модифицирования известных специальных цементов путем введения в их состав различных неорганических и органических добавок или их смесей. Среди многочисленных разновидностей специальных цементов в данной статье приводятся лишь отдельные из них, получившие наибольшее развитие в России.

**Глиноземистый (алюминатный) цемент** занимает особое место в ряду специальных разновидностей вяжущих. Он обладает рядом ценных свойств, из которых в первую очередь следует выделить способность быстро затвердевать. Цемент характеризуется повышенной химической стойкостью к воздействию различных агрессивных сред, является одним из основных компонентов расширяющихся цементов.

Различают *обычный, высокоглиноземистый и особо чистый высокоглиноземистый* цементы. В основе этих цементов лежат алюминаты кальция, отличающиеся от алюминатов кальция, находящихся в портландцементе по составу. В зависимости от количества оксида алюминия высокоглиноземистые цементы подразделяются на моноалюминатные или диалюминатные. В обычном глиноземистом цементе могут присутствовать оксиды кремния и железа. В таблице приведен средний химический состав цементов.

*Минералогический состав глиноземистых цементов* представлен в основном моноалюминатом кальция СА

и геленитом  $C_2AS$  ( $2CaOAl_2O_3SiO_2$ ), а также двухкальциевым силикатом  $C_2S$ , алюмоферритами кальция  $C_6A_2F$  и др. Высокоглиноземистые цементы в зависимости от состава исходной сырьевой смеси, способа получения и технологических параметров содержат различное количество СА и  $CA_2$ , небольшое количество алюмината кальция  $C_{12}A_7$  и свободный глинозем. Новых фаз в системе  $CaO-Al_2O_3$  не обнаружено. Большое внимание уделяется изучению состава фаз методом микрондирования. Установлено, что наибольшей изоморфной емкостью обладает алюминат кальция  $C_{12}A_7$ , затем СА и  $CA_2$ . При наличии в сырье значительного количества кремнезема или оксидов железа цементы называют белитоглиноземистыми, алюмоферритными или железосодержащими. Введение в состав сырья различных материалов приводит к изменению названия цемента, при этом добавляют термин, отражающий вид добавки, например барийглиноземистый, бороглиноземистый, алюмомагнезиальный, алюмоцирконокальциевый и т. д.

Большое внимание в настоящее время уделяется совершенствованию способа получения глиноземистых цементов, а именно методу плавления, который позволяет регулировать фазовый состав клинкера в широком интервале за счет изменения скорости охлаждения расплава.

Фазовый состав предопределяет скорость гидратации и твердения цементов и их смесей, соответственно и их технические свойства.

*Свойства глиноземистых цементов.* Для характеристики глиноземистых цементов, как и для портландцемента, рассматривают сроки схватывания, прочность при различных температурах и условиях твердения, жаростойкие свойства, химическую стойкость, морозостойкость.

*Сроки схватывания.* Начало схватывания обычного глиноземистого цемента должно наступать не ранее 30 мин, конец схватывания – не позднее 12 ч с момента затворения. Высокоглиноземистые цементы характеризуются более медленным схватыванием – не ранее 2 ч с момента затворения цемента водой. Сроки схватывания глиноземистых цементов регулируются как на стадии производства, так и в процессе его применения.

В качестве технологических параметров оптимизации состава клинкера рассматриваются температура и длительность обжига, степень измельчения и однородность сырьевой смеси, применение минерализаторов. Так, увеличение температуры обжига с 1400 до 1550°C сопровождается укрупнением кристаллов СА и  $CA_2$ , что

Наименование	Массовая доля компонентов, %				
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Примеси
Обычный цемент	9–12	1–5	40–42	39–42	5–7
Высокоглиноземистый (моноалюминатный)	1–2	0,5–1	60–65	30–32	2–3
Высокоглиноземистый (диалюминатный)	1–2	0,2–0,5	72–75	23–26	0,5–0,6

сопровождается замедлением периода схватывания. Применение минерализаторов способствует снижению температуры обжига, изменяет соотношение катионов и анионов в расплаве, снижает вязкость клинкерного расплава, ускоряет диффузию ионов, оказывает влияние на характер кристаллизации минералов и соответственно на сроки схватывания цемента. Особенно сильное влияние на период схватывания оказывает алюминат кальция  $C_{12}A_7$ . В зависимости от необходимости ускорять или замедлять схватывание процесс синтеза ведут соответственно либо для получения клинкера, содержащего эту фазу, либо для полного связывания этой фазы в СА.

Способствует регулированию схватывания и использование сырьевых материалов с различными примесями. В процессе обжига клинкера каждая из фаз –  $C_{12}A_7$ , СА,  $CA_2$  и другие содержит большой набор примесей, причем  $C_{12}A_7$  обладает наибольшей изоморфной емкостью, соответственно изменение ее состава обусловлено изменением скорости схватывания цемента.

На стадии применения цемента регулирование периода схватывания осуществляют введением в состав различных добавок. Замедляют схватывание борная кислота, хлориды калия, натрия и бария, глицерин, сахар, триэтанолламин; ускоряют  $NaHCO_3$ ,  $Na_2CO_3$ , LiCl,  $Ca(OH)_2$ ,  $Na_2SO_4$ , СДБ, ССК. Ряд соединений в малых количествах замедляет, а в больших количествах ускоряет схватывание.

**Прочность.** Наиболее важным свойством глиноземистого цемента является его способность быстро затвердевать при затворении водой: его однодневная прочность соответствует 28 сут прочности портландцемента. Цемент моноалюминатного состава имеет сравнительно высокую прочность в начальные сроки твердения без существенного прироста при длительном твердении. Диалюминат кальция при низкой прочности в первые сутки достигает высоких показателей при длительном твердении. Регулируя соотношение СА/СА<sub>2</sub> и дисперсность цемента, можно получать цементы с равномерным нарастанием прочности во все сроки твердения.

**Влияние температуры и условий твердения на прочность цементного камня.** Повышение температуры интенсифицирует процесс гидратации минералов, что приводит к быстрому образованию большого количества мелкокристаллических и гелеобразных продуктов реакции, которые за короткий срок твердения не могут образовывать прочный кристаллический каркас. Препятствует этому явление перекристаллизации первичных гексагональных гидроалюминатов кальция в кубическую форму. Этот процесс сопровождается снижением прочности цементного камня. Чем выше температура и чем длительнее ее воздействие, тем значительнее снижается прочность, поэтому изделия из глиноземистого цемента не рекомендуется пропаривать или подвергать автоклавной обработке. Для предотвращения снижения прочности бетона используют холодную воду и заполнитель, интенсивную поливку бетона водой. Изделия из высокоглиноземистого цемента, содержащего диалюминат кальция, целесообразно пропаривать, поскольку фазовый состав образовавшихся гидратов отличается от гидратов, образовавшихся при твердении обычного глиноземистого цемента.

**Жаростойкие свойства.** Серьезным преимуществом глиноземистых цементов является их жаростойкость и коррозионная стойкость: остаточная прочность после воздействия высоких температур, огнеупорность, деформация под нагрузкой, термостойкость, малый износ при истирании.

Применяют цементы для футеровочных работ при возведении различных тепловых агрегатов металлургии,

химической промышленности и в энергетике. В условиях дефицита огнеупоров цементы могут быть использованы для получения соответствующих бетонных блоков или смесей для различных тепловых агрегатов.

Одним из важнейших показателей жаростойкости цементов является отношение цементного камня к воздействию повышенных температур. Процесс нагревания цементного камня сопровождается фазовыми превращениями, испарением воды, выделяющейся из кристаллогидратов, изменением пористости и, как следствие, снижением прочности. По степени снижения прочности, как правило, судят о жаростойкости цемента.

Большое внимание в настоящее время уделяется физико-химическим процессам, протекающим при нагревании цементного камня. Известно, что при гидратации глиноземистого цемента образуются метастабильные гидроалюминаты кальция  $CAH_{10}$ ,  $C_2AH_8$ , перекристаллизуясь затем в кубическую форму  $C_3AH_6$ . С целью определения степени влияния их на изменение структуры и прочности цементного камня при его нагревании до высоких температур изучалась возможность замедления перекристаллизационных процессов путем введения в состав глиноземистых цементов различных добавок. Следует отметить, что в течение длительного времени никаких добавок к глиноземистому цементу вводить не разрешалось.

Были проведены эксперименты с цементными, к которым добавляли микрокремнезем и органические соединения. Физико-химические исследования показали, что при нагревании цементного камня до 200°C степень гидратации всех цементов повышается за счет ускорения реакций взаимодействия компонентов с физически адсорбированной водой, находящейся в структуре цементного камня. Количество продуктов гидратации увеличивается, они заполняют поры в цементном камне и прочность его повышается. Состав продуктов гидратации при этом представлен в бездобавочном глиноземистом цементе кубическим гидроалюминатом кальция, в цементе с добавкой микрокремнезема – гидроалюмосиликатом кальция, в цементе с добавкой органической кислоты – гексагональным гидроалюминатом кальция. При дальнейшем повышении температуры нагрева происходит отщепление кристаллохимической воды из структуры гидратов, увеличение пористости и снижение прочности цементного камня. Степень снижения прочности зависит от состава цемента. Цементы с добавками показывают меньшую пористость и более высокую прочность по сравнению с бездобавочным, что позволяет их рекомендовать для жаростойкого бетона.

**Быстротвердеющие и быстротвердеющие цементы.** Эти цементы используются при аварийных работах, при проведении ремонта дорожных магистралей или взлетных полос, время закрытия которых и связанные с этим нарушения движения должны быть сведены к минимуму, при необходимости установить течь жидкостей, находящихся под напором. Как правило, такие цементы содержат модифицированные алюминатные и силикатные фазы. Модифицирование фаз осуществляется фторидами, хлоридами и сульфатами кальция. Фазы таких цементов представлены помимо силикатов кальция алюминатами кальция  $C_{11}A_7CaX_2$ , где X –  $Ca(OH)_2$ , Cl, F,  $SO_3$ . Основной характеристикой этих цементов является период схватывания. При ремонте транспортных магистралей необходимо обеспечить удобоукладываемость цементных растворов и бетонов в течение сравнительно длительного времени и иметь высокую прочность. Для приостановки фильтрации жидкостей, находящихся под напором, необходимы цементы с коротким периодом схватывания: начало не позднее 5 мин, а конец схватывания не позднее 15 мин. Прочность цементов необязательно должна быть высо-

кой. Те и другие разновидности цементов должны быть устойчивыми к солям, находящимся в грунтовых и талых водах. Для ускорения схватывания применяют различные добавки (сочетая органические и неорганические материалы) к портландцементу, алюминатному цементу или их смеси.

Для практических целей разработаны «Цемент с регулируемыми сроками схватывания RSC» (США), «Джет цемент» (Япония), «Галогенсодержащий быстротвердеющий цемент» (Россия), содержащие в своем составе 30–40% фторалюмината и 60–70% (алит+белит); выпуск аналогичных цементов организован в Великобритании, Германии, Австрии.

В настоящее время работы в этом направлении ведутся, хотя и менее интенсивно, в связи с необходимостью утилизировать отходы различных отраслей промышленности, содержащие фториды, сульфаты и хлориды.

В зависимости от состава цемента, соотношения фаз схватывание цементного теста находится в пределах 3–5 мин (начало) и 8–20 мин (конец).

Определенные технические трудности получения сверхбыстротвердеющих цементов привели к разработке композиционных цементов. Часто составляют смесь из глиноземистого и портландского цемента, которая в зависимости от соотношения компонентов характеризуется следующими показателями: начало 15–30 мин, конец 60–240 мин. В частности, при соотношении 50:50 смесь цементов начинает схватываться через 2–3 мин и конец схватывания наступает через 5–7 мин. Все упомянутые цементы имеют прочность через 6 ч твердения, равную 10–12 МПа, но к 28 сут ее рост замедляется и составляет 30–35 МПа.

Нельзя не отметить, что поставленная цель получения быстротвердеющих и долговечных цементов была достигнута путем сульфатирования клинкерных минералов.

**Расширяющиеся цементы.** Производство этих цементов основано на совместном измельчении портландцемента, расширяющейся добавки и гипса. В качестве расширяющейся добавки используют промышленные продукты, содержащие алюминаты кальция, природные материалы после их тепловой обработки или специально получаемые материалы, например вышеупомянутые сульфатированные клинкеры. Расширяющиеся растворы и бетоны могут быть получены непосредственно на строительных площадках путем смешения цементов с добавками или затворением водным раствором, содержащим химические соединения, способствующие определенному структурообразованию цементного камня и бетона и обеспечивающие его высокую водонепроницаемость и трещиностойкость.

В зависимости от величины расширения различают следующие разновидности: безусадочные, расширяющиеся, напрягающие цементы. Последние подразделяют на несколько марок в зависимости от величины самонапряжения: цемент с малой (НЦ-10), средней (НЦ-20) и высокой энергией самонапряжения (НЦ-40). Эти две величины предопределяют область их применения. Безусадочные цементы используют для создания непроницаемых покрытий, плотных бетонов; расширяющиеся могут быть использованы, кроме того, для преднапряженных бетонных изделий; напрягающие НЦ-40 – для трехосно-напряженного железобетона.

Новым направлением в области расширяющихся цементов является введение в их состав различных органических соединений – суперпластификаторов, полимеров, воздухововлекающих материалов и т. д.

Расширяющиеся цементы с полимерными материалами имеют очень высокую плотность и непроницаемость. Они используются для гидроизоляции различных сооружений и обеспечивают коррозионную стойкость арматуры без ее специального покрытия соотвествующими материалами.

Технологические факторы, влияющие на свойства цементов: количество расширяющегося компонента, гипса, тонкость помола, минералогический состав портландцементного клинкера, расширяющиеся добавки. Хлориды и щелочные соединения снижают величину расширения за счет изменения структуры цементного камня. Температура твердения цементного камня оказывает существенное влияние на свойства. В интервале 50–60°C расширение происходит быстрее, но его величина достигает меньшего уровня, чем при твердении в обычных условиях.

Расширяющиеся цементы применяются при строительстве волнорезов и причалов, при зачеканке швов сборных гидроочистных сооружений, для ремонта аэродромных покрытий, спортивных сооружений.

Таким образом, в настоящее время имеется широкая гамма специальных цементов для производства различных видов продукции, которые могут удовлетворить запросы потребителей в зависимости от поставленных задач и объектов строительства.

## Стройматериалы

### Вышла в свет книга:

*Маневич В.Е., Субботин К.Ю., Ефременков В.В. Сырьевые материалы, шихта и стекловарение.*  
М.: РИФ «Стройматериалы», 2008. 224 с.

В книге подробно рассмотрены сырьевые материалы для производства стекла различного назначения, влияние технологических факторов на качество шихты и варку стекла, приведены последние разработки в области автоматизации производства стекольной шихты и других многокомпонентных смесей. Представлено различное оборудование, разработанное ЗАО «Стромизмеритель», которое успешно работает не только в России, но и в других странах СНГ и дальнего зарубежья.

### Готовится к выпуску:

*Масленникова Г.Н., Пищ И.В. Керамические пигменты.*  
М.: РИФ «Стройматериалы», 2008. 240 с.

Рассмотрены физико-химические основы синтеза пигментов: термодинамическое обоснование реакций, теория цветности, современные методы синтеза пигментов, их классификация, методы оценки качества. Приведены сведения по технологии пигментов и красок различных цветов и кристаллических структур.

### Заказать книги можно в издательстве:

**Тел.:** (495) 976-22-08, 976-20-36 **E-mail:** mail@rifsm.ru, rifsm@mail.ru

Ю.Р. КРИВОБОРОДОВ, д-р техн. наук, РХТУ им. Д.И. Менделеева;  
С.В. САМЧЕНКО, д-р техн. наук, МГАКХиС (Москва)

## Влияние агрегатного состояния промежуточной фазы клинкера на свойства цементов

Образование минералов цементного клинкера происходит в различных температурных условиях в результате сложных физико-химических процессов. Известно, что при твердофазном синтезе реакции минералообразования завершаются при многократном обжиге сырьевых смесей, рассчитанных на получение трехкальциевого и двухкальциевого силикатов. Наличие расплава в системе существенно ускоряет процессы химического взаимодействия оксидов, и синтез силикатов кальция происходит за считанные минуты. Поэтому при обжиге цементных клинкеров основные процессы минералообразования происходят с участием жидкой фазы. В процессе охлаждения расплава в клинкере возможно образование частично остеклованных минералов, прежде всего алюминатов и алюмоферритов кальция. Кроме того, может отмечаться фиксация части расплава в стекловидном состоянии. В связи с этим режим охлаждения имеет важное значение для формирования минералогического состава клинкера, который влияет на гидратационные свойства. Это необходимо учитывать при объяснении некоторых свойств клинкеров [1, 2].

В портландцементных клинкерах алюминаты кальция очень часто находятся в тесном взаимном проращении с алюмоферритами кальция, образуя так называемое промежуточное вещество, показатели светопреломления которого колеблются в зависимости от глиноземного модуля. В полированных шлифах оно имеет белую или светло-серую окраску. Иногда в шлифах просматривается мелкокристаллическое строение промежуточного вещества, состоящее из чередующихся мельчайших пластинок светлого и темного цветов. Когда исключается возможность полной кристаллизации клинкерного расплава, часть его застывает в стеклообразном состоянии. Установлено, что светлое промежуточное вещество обогащено железом, а темное – алюминием.

Рассмотреть кристаллы трехкальциевого алюмината в полированных шлифах в отраженном свете можно только в белых клинкерах. Здесь он просматривается в виде рельефных гексагональных пластинок.

Синтезу и изучению алюмоферритов кальция уделялось и до сих пор уделяется большое внимание [1, 3–7], поскольку их состав, характер плавления и кристаллизации представляет интерес для многих видов цемента: портландцемента, глиноземистого, железистого, сульфатированного.

Алюмоферриты кальция входят в состав промежуточной фазы портландцементного клинкера и представляют собой непрерывный ряд твердых растворов, описываются общей формулой  $C_2A_xF_{1-x}$  или  $Ca_2(Al_xFe_{1-x})_2O_5$ , где  $x=0-0,7$ . Наиболее изученные составы:  $C_6A_2F$  при  $x=0,66$ ;  $C_4AF$  при  $x=0,5$  и  $C_6AF_2$  при  $x=0,33$ . Все минералы этого ряда относятся к ромбической сингонии, по некоторым данным, моноклинной. В клинкерах встречаются в виде агрегатов неправильной формы и полисинтетических двойников с малым углом погасания, иногда встречаются призматические кристаллы (рис. 1).

Состав алюмоферритов  $C_6AF_2$ ,  $C_4AF$ ,  $C_6AF_2$  не вызывает сомнения, за исключением возможности образования  $C_8A_3F$ . Образование алюмоферрита того или иного состава зависит от кислотно-основного равновесия в расплаве и скорости охлаждения. При введении в алюмоферритный расплав добавок, проявляющих кислотные свойства, а также при резком его охлаждении выкристаллизовываются обогащенные оксидом алюминия алюмоферриты кальция. Ввод в него добавок, проявляющих основные свойства, и медленное охлаждение расплава приводят к кристаллизации обедненных оксидом алюминия алюмоферритов кальция.

Еще большие различия в формировании алюмоферритов кальция имеют место при их спеканиях. При обжиге смеси, содержащей  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , образуется алюминат

кальция  $C_5A_3$  и алюмоферриты кальция разного состава как результат взаимодействия  $C_5A_3$  с образовавшимся  $C_2F$ . Таким образом, метод синтеза оказывает большое влияние на механизм образования и состав алюмоферритов кальция [1].

В наших исследованиях алюмоферриты получали как твердофазным синтезом при обжиге сырьевых смесей, рассчитанных на получение алюмоферритов кальция состава  $C_6AF_2$ ,  $C_4AF$ ,  $C_6A_2F$ , так и кристаллизацией алюмоферритных расплавов.

Исследования продуктов обжига методом РФА, ИКС и микроскопии показали, что алюмоферриты кальция заданного состава получают при многократном обжиге. Межплоскостные расстояния основных дифракционных пиков алюмоферритов кальция, полученных таким образом, практически совпадают с данными, приведенными в картотеке ASTM (см. таблицу). Результаты РФА подтверждаются и ИКС-исследованиями. Полосы поглощения алюмоферритов кальция проявляются в области  $700-800\text{ см}^{-1}$ . Интенсивность этих полос возрастает по мере увеличения количества оксида алюминия в составе алюмоферритной фазы.

Получение алюмоферритов кальция заданного состава из расплавов зависит от режимов охлаждения, поскольку сложный процесс кристаллизации минералов из расплава обуславливается механизмом гомогенного или гетерогенного зародышеобразования. При этом главным фактором зарождения центров кристаллизации является степень переохлаждения расплавов. Показано, что алюмоферриты кальция кристаллизуются в широком диапазоне температуры. Максимум скорости зарождения кристаллов лежит в области конца кристаллизации расплава, что свидетельствует о возможности его переохлаждения. Максимум скорости роста кристаллов соответствует максимуму экзотермического эф-



фекта кристаллизации алюмоферритов на кривых дифференциального термического анализа.

Выполненные исследования показали, что при быстром охлаждении имеет место расслоение расплава, что подтверждается результатами микрорентгеноспектрального анализа. Микроскопическими исследованиями установлен различный характер структуры застывшего расплава. Закристаллизованный участок имеет оливковую окраску, а стеклообразный участок – красный оттенок. Кристаллические фазы обогащены алюминием, а застывший расплав – железом. Это объясняется строением алюмоферритных расплавов. В них присутствуют ионы как в тетраэдрической  $[AlO_4]^{5-}$ ,  $[FeO_4]^{5-}$ , так и в октаэдрической координации  $[AlO_6]^{9-}$ ,  $[FeO_6]^{9-}$ , находящиеся между собой в равновесии  $[MeO_4]^{5-} \leftrightarrow [MeO_6]^{9-}$  [5]. Можно предположить, что флуктуацию будут вызывать более склонные к полимеризации ионы алюминия, так как ионы железа менее подвижны в расплаве. Передвижение в алюмоферритных расплавах более подвижных алюминатных ионов вызывает изменение плотности и концентрации ионов, которые становятся зародышами кристаллической фазы и приводят к расслоению расплава при кристаллизации и формированию различных по составу кристаллов.

По данным рентгенофазового анализа, среди продуктов быстрого охлаждения расплава состава  $C_6A_2F$  присутствуют алюминаты кальция состава  $CA_2$  и различные алюмоферриты. При электронно-микроскопическом анализе четко прослеживается присутствие помимо основной фазы – алюмоферрита кальция, закристаллизованного в виде призматических кристаллов,

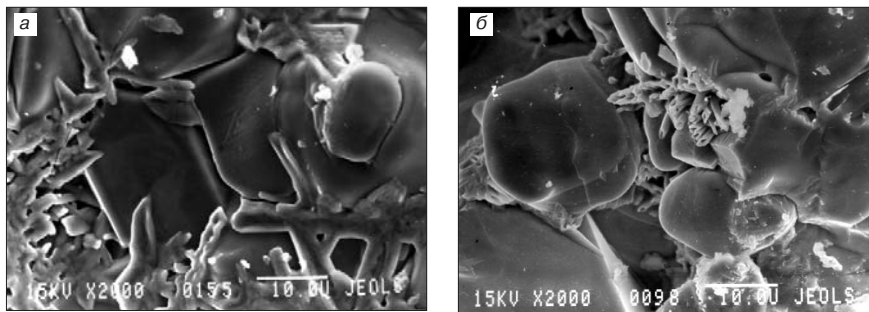


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки промежуточного вещества клинкеров: а – агрегаты неправильной формы; б – призматические кристаллы

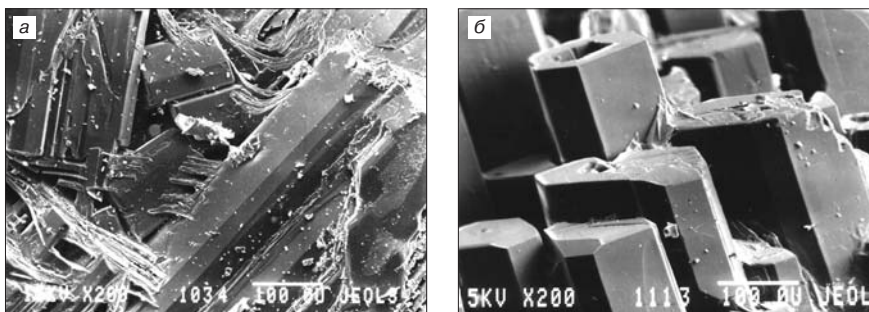


Рис. 2. Закристаллизованные алюмоферриты кальция: а – состава  $C_6A_2F$ ; б –  $C_4AF$

гексагональных кристаллов алюмината кальция (рис. 2, а). Медленное охлаждение расплава на воздухе приводит к получению монофазного продукта.

Алюмоферриты кальция  $C_4AF$ , полученные быстрым охлаждением, имеют крупную кристаллизацию минералов (рис. 2, б). За счет интенсивного вовлечения во время роста кристаллов целых слоев расплава происходит либо обеднение, либо обогащение расплава оксидами алюминия или железа. Это и обуславливает зональность строения кристаллов.

Режимы охлаждения расплавов алюмоферрита кальция состава  $C_6AF_2$  сказываются лишь на размерах кристаллов. На рентгено-

граммах образцов быстрого охлаждения наблюдается несколько меньшая интенсивность основных аналитических линий, что объясняется присутствием частично застывшего расплава.

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии режимов охлаждения на структуру алюмоферритов, что влияет на их свойства, в первую очередь на размалываемость и гидратационную активность.

Достижение заданных значений удельной поверхности алюмоферритов кальция зависит как от вида минерала, так и от его агрегатного состояния [8]. С увеличением отношения  $A/F$  в первые минуты помола удельная поверхность интенсивно растет, с увеличением продолжитель-

Индексы плоскостей НКл	Межплоскостные расстояния (нм) соединений					
	$C_6A_2F$		$C_4AF$		$C_6AF_2$	
	ASTM	Экспер.	ASTM	Экспер.	ASTM	Экспер.
020	0,717	0,7242	0,721	0,7253	0,723	0,7284
040	0,362	0,3649	0,363	0,3647	0,364	0,3665
200	0,276	0,2765	0,277	0,278	0,278	0,2792
002	0,265	0,2659	0,267	0,2672	0,268	0,2685
141	0,262	0,263	0,263	0,2642	0,265	0,2652
161	0,204	0,2041	0,204	0,2047	0,205	0,2057
202	0,191	0,1916	0,192	0,1926	0,193	0,1937
080	0,181	0,1809	0,181	0,1812	0,182	0,1823

ности измельчения сопротивляемость материала помолу слабо изменяется во времени, и для достижения заданных значений требуется более длительный помол. Для алюмоферритов состава  $C_6AF_2$  с низким значением  $A/F=0,32$  удельная поверхность растет монотонно, это, видимо, связано с тем, что, достигая определенного размера, частицы этого минерала за счет собственной высокой плотности сами выполняют роль истирающего материала.

Кристаллические минералы измельчаются легче стеклообразных алюмоферритов кальция того же состава, хотя последние обладают меньшей плотностью. Легче всего размалываются алюмоферриты кальция, полученные в «стеклокристаллическом» состоянии, так как при этом получается мелкокристаллический продукт с наличием между кристаллами стекла и размалываемость такого продукта протекает монотонно.

Гидратационная активность в алюмоферритном ряду с увеличением отношения  $A/F$  увеличивается, но также зависит от агрегатного состояния. Алюмоферриты кальция быстрого охлаждения, то есть в «стеклокристаллическом» состоянии, обладают несколько меньшей гидратационной активностью, чем

минералы медленного охлаждения и хорошо закристаллизованные [9]. Алюмоферритные расплавы, затывшие в виде стекла, характеризуются очень низкой гидратационной активностью, и для них, как и для алюминатных расплавов, требуется щелочное или сульфатное возбуждение.

Таким образом, свойства, как отдельных клинкерных минералов, так и клинкеров в целом зависят не только от химического состава, но и от условий их синтеза. Поэтому при получении промышленных клинкеров общестроительного или специального назначения необходимо учитывать возможность фиксации минералов в различных агрегатных состояниях, что, несомненно, скажется на их свойствах.

#### Список литературы

1. Самченко С.В. Сульфатированные алюмоферриты кальция и цементы на их основе. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004, 120 с.
2. Кузнецова Т.В., Самченко С.В. Микроскопия материалов цементного производства. М.: ИПЦ МИКХиС, 2007. 304 с.
3. Кузнецова Т.В., Кривобородов Ю.Р., Самченко С.В. Взаимосвязь структуры и свойства расплавов сульфидоферритных и суль-

фолюмоферритных клинкеров // Журнал прикладной химии. 1992. Том 65. Вып. 3. С. 578–583.

4. Осокин А.П., Кривобородов Ю.Р., Потапова Е.Н. Модифицированный портландцемент. М.: Стройиздат, 1993. 328 с.
5. Зубехин А.П., Голованова С.П., Кирсанов П.В. Белый портландцемент. Ростов-на-Дону, 2004. 264 с.
6. Класен В.К. Обжиг цементного клинкера. Красноярск: Стройиздат. Красн. отд., 1994. 323 с.
7. Кривобородов Ю.Р., Самченко С.В. Физико-химические свойства сульфатированных клинкеров. Обзорная информация. Серия I. Цементная промышленность. М.: ВНИИЭСМ, 1991. 55 с.
8. Самченко С.В., Кривобородов Ю.Р. Агрегатное состояние и размалываемость алюмоферритов кальция // Цемент. 1992. № 1. С. 11–14.
9. Самченко С.В., Кривобородов Ю.Р. Влияние агрегатного состояния алюмоферритов кальция на их гидратационную активность. Труды НИИЦемент. Химические и физико-химические методы исследования материалов цементного производства. М., 1992. Вып. 106. С. 62–67.



## ООО «МГБ Фильтр» разрабатывает и производит

### Новый вид общепромышленных фильтров для очистки запыленных газов – панельные фильтры

Особенности этих фильтров по сравнению с другими типами фильтров:

- компактность (габариты меньше в 1,5–2 раза);
- автоматическая регенерация вибровстряхиванием (без использования сжатого воздуха);
- эффективность улавливания пыли – более 99%;
- срок службы рукавов без замены – не менее 5 лет;
- возможность эксплуатации на открытом воздухе в условиях низкой температуры и атмосферных осадков.

### Теплообменники «газ–газ»

### Поставляет запасные части к фильтрам:

- фильтровальные элементы и рукава;
- пылевые затворы-мигалки;
- шиберы;
- контейнеры для сбора пыли.

### ООО «МГБ Фильтр»

Россия, 119330, г. Москва,  
ул. Мосфильмовская, 17-Б.

Телефон: (495) **796-44-06**,  
**796-07-04**

Факс: (495) **734-35-91**

E-mail: **mgbfiler@mail.ru**

Изготовленные нами фильтры эксплуатируются с 2002 года на ряде предприятий различных отраслей промышленности, в основном в промышленности строительных материалов.

**Мы готовы подобрать для вашего предприятия серийные фильтры или изготовить нестандартные для ваших условий**



# От замысла до производства

Разработка, изготовление и ввод в эксплуатацию оборудования  
и производственных комплексов по выпуску тонкодисперсного сырья

**ООО НПО «АкмеТехнология»** – научно-производственная инновационная компания предлагает:  
• вибромельницы • роторные мельницы • классификаторы воздушные • сушилки барабанные.

**Печь сушильная вращающаяся СБ-1000** предназначена для сушки сыпучих материалов в непрерывном режиме. Конструкция предусматривает установку тепловентилятора или горелок на жидком и газообразном топливе.

### Технические характеристики

Производительность, т/ч .....	до 2
Принцип сушки .....	противоточный
Установленная мощность, кВт .....	180
Расход сухого воздуха, м <sup>3</sup> /ч .....	1535
Температура сушильного агента, °С .....	до 350
Угол наклона барабана, .....	0-6
Габаритные размеры, мм .....	6525/1525/1575
Масса, кг .....	3500
Стоимость, тыс. р. ....	660

### Области применения СБ-1000

- сушка минерального сырья, используемого в качестве строительных материалов
- сушка влажных осадков
- сушка компонентов сухих строительных смесей
- сушка продукции химической промышленности



ООО НПО «АкмеТехнология»

Россия, 630090, Новосибирск, ул. Институтская, 3, оф. 164

Тел./факс: (383) 333-20-44, тел.:330-88-01

E-mail: akme@akmetech.ru

www.akmetech.ru

Реклама



### «АльфаАЭРО» – новый, не имеющий аналогов, автоматизированный аэрозольный радиометр для оценки радоновой обстановки в зданиях

Предназначен для определения средней за год эквивалентной объемной активности радона в помещениях (нормированный параметр).

Прост в управлении. Удобный интерфейс не требует изучения инструкции. Параметр устанавливается на основе краткосрочных измерений.

Радиометр внесен в Государственный реестр средств измерений.

### Основные технические характеристики

Диапазон измерения	10÷1000000 Бк/м <sup>3</sup>
Продолжительность одного измерения	1÷10 мин
Продолжительность работы без подзарядки аккумулятора	не менее 24 ч
Масса (без сумки)	1,9 кг
Размеры	175×150×150 мм

### ООО «НТЦ Амплитуда»

124460, г. Москва, а/я 120

Тел./факс: (495) 777-1358, 777-1359

www.amplituda.ru, e-mail: info@amplituda.ru

Реклама



# Святослав Васильевич Поляков 1918–1992

В сентябре 2008 г. исполнилось 90 лет со дня рождения выдающегося ученого в области сейсмостойкости сооружений профессора, доктора технических наук С.В. Полякова.

В 1941 г. Святослав Васильевич окончил Харьковский инженерно-строительный институт и начал трудовую деятельность в проектной организации, где занимался проектированием предприятий металлургической промышленности и других объектов. Работал в Центральном научно-исследовательском институте строительных конструкций им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР (ранее ЦНИПС) в должности старшего научного сотрудника (1945–1961 гг.), руководителя сектора общей методологии и унификации расчетов строительных конструкций, заместителя директора по научной работе (1965–1985 гг.) и по совместительству – руководителя отдела сейсмостойкости сооружений (1970–1986 гг.).

Ученая степень кандидата технических наук была присвоена С.В. Полякову в 1946 г., а доктора технических наук – в 1959 г. В 1963 г. он утвержден в звании профессора. Святослав Васильевич преподавал в МИСИ им. В.В. Куйбышева, в институте цветных металлов и золота, во Всесоюзном заочном политехническом институте, где вел курсы «Сопроотивление материалов» и «Железобетонные и каменные конструкции». С 1986 г. работал в ЦМИПКС при МИСИ им. В.В. Куйбышева.

Многие годы С.В. Поляков был председателем Национального комитета СССР по инженерной сейсмологии и сейсмостойкому строительству, заместителем председателя Межведомственного совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР, председателем секции сейсмологии и сейсмостойкого строительства этого совета, председателем секции сейсмостойкого строительства Центрального правления НТО Стройиндустрии СССР.

С.В. Поляков являлся известным в нашей стране и за рубежом специалистом по вопросам сейсмостойкости сооружений, автором отечественных норм их проектирования. При его участии разработаны и осуществлены проекты различных уникальных и типовых сооружений в СССР и за рубежом. С 1950 г. студенты строительных вузов СССР изучают курс «Каменные конструкции» по его книгам, выдержавшим четыре издания. В проектных организациях получила одобрение и используется книга «Каменные и армокаменные конструкции. Примеры расчетов». В 1969 г. им опубликована книга «Сейсмостойкие конструкции зданий», которая является учебником в вузах и широко использовалась проектными организациями как в СССР, так и за рубежом. Она издана также в США. Переработанный и дополненный вариант книги был переиздан в 1983 г.

Всего ученым было опубликовано около 30 книг (23 из них без соавторов). Одна из книг в соавторстве с С.М. Сафаргалиевым была переведена на китайский язык и вышла в Китае в 1992 г. На изобретения ученого получено более 30 авторских свидетельств. Его работы изданы за рубежом и переведены на болгарский, сербский, английский, немецкий, румынский, китайский, греческий и итальянский языки. Под общей редакцией С.В. Полякова издано 19 сборников научно-исследовательских работ и пособий по проектированию сейсмостойких сооружений, он являлся главным редактором журнала «Сейсмостойкое строительство», а также членом редакционной коллегии журнала Международной ассоциации по сейсмологии и сейсмостойкому строительству и журнала «Строительная механика и расчет сооружений».

Лично Святославом Васильевичем и под его руководством проведены большие теоретические и экспериментальные исследования сейсмостойкости различного типа зданий и сооружений, созданы руководства по их расчету, а также инженерному анализу последствий землетрясений, по вопросам организации методов обработки данных инженерно-сейсмометрической службы. Он принимал участие в формулировании требований к карте сейсмичности страны, а также в разработке задания и текста сейсмической шкалы. Под его руководством и при его участии проводились обследования последствий ряда сильных землетрясений в СССР и за рубежом (Югославского в 1963 г., Ташкентского в 1966 г., Зангезурского, Дагестанского и Карпатского в 1977 г., Газлийского в 1984 г., Спитакского в 1988 г. и др.).

Под руководством С.В. Полякова подготовлено и защищено более 50 диссертаций на соискание степени кандидата технических наук.

Лауреат премии Совета Министров СССР, С.В. Поляков награжден орденами «Знак почета», золотой и серебряной медалями ВДНХ СССР. За работу по созданию норм сейсмостойкого строительства в Югославии получил почетную медаль г. Скопле, а за руководство работами по созданию общеевропейских норм сейсмостойкого строительства – диплом Европейской ассоциации по сейсмологии и сейсмостойкому строительству. В 1980 г. награжден медалью Международной ассоциации по инженерной сейсмологии и сейсмостойкому строительству и избран ее почетным членом.

Принципиальность, скромность, доброжелательность, простота, человечность, высокий профессионализм в работе, талант и исключительное трудолюбие снискали С.В. Полякову глубокое уважение и признание друзей, коллег и учеников. Таким он навсегда остался в наших сердцах.

*С.М. Сафаргалиев, академик МАНЭБ*

УДК 699.8:546.7

Л.А. ГУЛАБЯНЦ, д-р. техн. наук, НИИСФ РААСН;  
А.А. ЦАПАНОВ, инженер, НТЦ «Амплитуда» (Москва)

## Радонопроницаемость рулонного материала Техноэласт

Согласно Нормам радиационной безопасности [1] содержание радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий не должно превышать установленного предела. Поскольку в большинстве практических случаев сверхнормативное содержание радона обусловлено его поступлением в помещение из грунтовых оснований зданий, при проведении инженерных экологических изысканий для строительства оценивается потенциальная радоноопасность площадей застройки [2, 3]. В случае квалификации площади как радоноопасной при проектировании здания необходимо предусматривать его противорадоновую защиту. Главная задача такой защиты заключается в повышении газонепроницаемости заглубленных ограждающих конструкций и таким образом в снижении количества проникающего через них радона до безопасного уровня. При этом необходимо выяснить, удовлетворяют ли ограждающие конструкции по своим радонозащитным свойствам местным условиям строительства.

В связи с отсутствием норм строительного проектирования противорадоновой защиты в лаборатории радиационной безопасности НИИСФ разработан метод расчета ожидаемой концентрации радона в помещениях проектируемых зданий. При решении задачи, представляющей теоретическую основу метода расчета [4], исходили из следующих предпосылок. Устанавливающийся в здании радоновый режим зависит от ряда определяющих

факторов, для учета совместного действия которых здание должно рассматриваться как единая система. Основные элементы этой системы:

- неоднородное грунтовое основание здания (основной источник радона);
- многослойные ограждающие конструкции здания (основное препятствие для проникновения радона из грунта в здание, но возможный источник радона, выделяемого материалами конструкций);
- система вентиляции (фактор, обеспечивающий удаление поступившего в помещение радона).

Для проведения практических расчетов по разработанному методу необходимо располагать значениями ряда физических характеристик материалов ограждающих конструкций здания, а также залегающих в его основании грунтов. К числу этих характеристик относятся плотность материала, удельная активность содержащегося в нем радия-226, коэффициенты эманирования и диффузии радона в материале. Имеющиеся данные о коэффициентах диффузии радона в различных материалах весьма малочисленны и противоречивы. Это объясняется не только относительно недавней актуализацией проблемы обеспечения радонобезопасности зданий, но и в значительной степени сложностью и трудоемкостью экспериментального определения этой характеристики с помощью существующих методов и оборудования. В большинстве проведенных исследований применяли методы стационарного режима, требующие больших затрат времени на получение единичного результата. При использовании более эффективных методов нестационарного режима вносили существенные упрощения, весьма снижавшие точность определения коэффициентов диффузии, особенно при испытаниях слабопроницаемых материалов. В связи с указанным в НИИСФ разработан усовершенствованный метод и реализующая этот метод экспериментальная установка, позволяющие определять коэффициент диффузии радона практически в любых материалах при относительно небольших затратах времени.

Суть метода заключается в установлении связи между коэффициентом диффузии радона в образце материала, размещенного в одном из торцов цилиндрической камеры, и объемной активностью радона в камере при условии, когда его начальная активность в камере задается в виде единичного, мгновенного импульса (рис. 1).

Снижение начального значения активности радона  $C_0$  в камере происходит как вследствие его радиоактивного распада, так и из-за диффузии через образец в окружающее пространство.

При проведении эксперимента регистрируется изменение во времени объемной активности радона в камере  $C_1$  ( $\tau > 0$ ) при заданных геометрических параметрах элементов системы камера-образец и неизвестном значении коэффициента диффузии радона в образце. Цель эксперимента заключается в решении обратной задачи, состоящей в том, чтобы, используя зарегистрированное изменение во времени объемной активности радона в камере, определить искомое значение коэффициента диффузии радона в образце испытываемого материала.

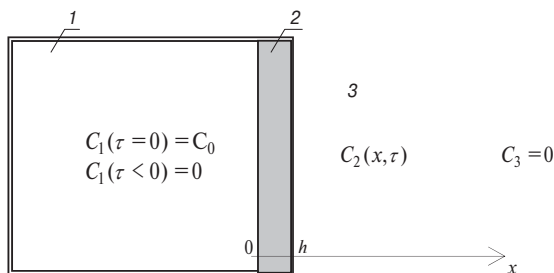


Рис. 1. Схема измерения диффузии радона: 1 – камера объемом  $V$ ; 2 – образец испытываемого материала толщиной  $h$  и площадью  $S$ ; 3 – окружающее пространство

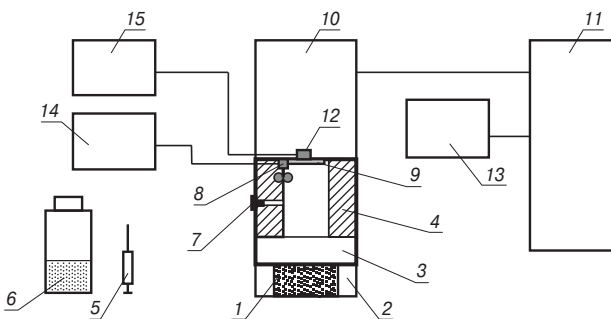


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – образец; 2 – держатель; 3 – камера; 4 – вкладыш; 5 – шприц; 6 – генератор; 7 – клапан; 8 – микровентилятор; 9 – детектор; 10 – фотоэлектронный умножитель; 11 – компьютер; 12 – нагревательный элемент; 13 – электронный термометр; 14, 15 – блоки питания вентилятора и нагревательного элемента

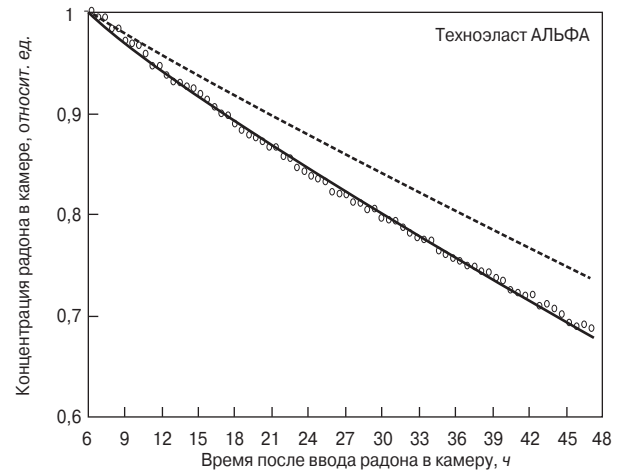
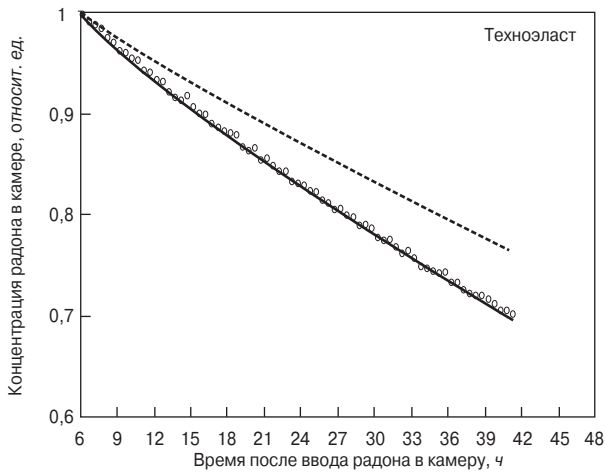


Рис. 3. Расчетные и полученные экспериментально отношения текущего значения объемной активности радона в камере к ее начальному значению (сплошная линия – расчетные значения; точки – экспериментально установленные значения; пунктирная линия – расчетные значения для герметичной камеры)

Принятые допущения: радон в камере распределен равномерно; объемная активность выделяющегося внутри образца радона пренебрежимо мала по сравнению с начальным значением активности внутри камеры; сорбционная способность материала образца по отношению к радону и содержание радона в окружающем пространстве пренебрежимо малы; баро- и термодиффузия радона в образце отсутствуют; процесс переноса одномерный. Система уравнений и краевые условия, описывающие процесс переноса радона при указанных выше условиях, имеют вид:

$$\frac{\partial C_1(\tau)}{\partial \tau} = -\lambda \cdot C_1(\tau) - \frac{S}{V} \alpha_1 \cdot [C_1(\tau) - C_2(0, \tau)]; \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_2(x, \tau)}{\partial \tau} = D \cdot \frac{\partial^2 C_2(x, \tau)}{\partial x^2} - \lambda \cdot C_2(x, \tau). \quad (2)$$

Решение  $C_1(\tau)$  уравнения (1) удовлетворяет начальному условию:

$$C_1(0) = C_0. \quad (3)$$

Решение  $C_2(x, \tau)$ , где  $0 \leq x \leq h$ ,  $0 \leq \tau < \infty$  (2) удовлетворяют начальным условиям:

$$C_2(x, 0) = 0 \quad (4)$$

и граничным условиям:

$$\begin{aligned} -D \frac{\partial C_2(0, \tau)}{\partial x} &= \alpha_1 \cdot [C_1(\tau) - C_2(0, \tau)]; \\ -D \frac{\partial C_2(h, \tau)}{\partial x} &= \alpha_2 \cdot [C_2(h, \tau) - C_3], (C_3 = 0). \end{aligned} \quad (5)$$

В приведенных уравнениях:  $C_1, C_2, C_3$  – объемная активность радона в камере, образце и окружающем воздухе соответственно, Бк/м<sup>3</sup>;  $C_0$  – объемная активность радона в камере в начальный момент времени, Бк/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – время, прошедшее с момента ввода радона в камеру, с;  $D$  – объемный коэффициент диффузии радона в материале, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda$  – постоянная распада радона, равная  $2,1 \cdot 10^{-6}$  1/с;  $h$  – толщина образца, м;  $S$  – площадь поперечного сечения цилиндрического образца, м<sup>2</sup>;  $V$  – объем камеры, м<sup>3</sup>;  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты, учитывающие условия газообмена в пограничном слое на границе раздела сред воздух–образец у левой и правой поверхностей образца соответственно, м/с.

Решение системы уравнений (1)–(5) представлено в [5]. Для вычислений значений функции  $C_1(\tau > 0)$  использовали компьютерную математическую программу MAPLE.

Таблица 1

Номер пробы	Коэффициент диффузии радона, $D \cdot 10^{10}$ , м <sup>2</sup> /с	
	пробы	среднее значение
Техноэласт		
1	$1,44 \pm 0,02$	$1,33 \pm 0,2$
2	$1,26 \pm 0,02$	
3	$1,28 \pm 0,02$	
Техноэласт АЛЬФА		
4	$1,04 \pm 0,02$	$0,91 \pm 0,11$
5	$0,84 \pm 0,02$	
6	$0,86 \pm 0,02$	

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

Образец герметично фиксируется в держателе, который так же герметично соединяется с камерой. При необходимости уменьшения рабочего объема камеры в нее устанавливается вкладыш. Порция радона с помощью шприца переводится в камеру из генератора через клапан. Равномерность распределения радона в объеме камеры обеспечивается регулируемым микровентильатором. Вследствие распада радона в камере появляются его короткоживущие продукты распада, которые осаждаются на внутренние поверхности камеры и в том числе на сцинтилляционную пластину детектора. Альфа-излучение радона и продуктов его распада, взаимодействуя с чувствительным слоем сцинтилляционной пластины, вызывает световые импульсы (сцинтилляции), которые преобразуются фотоэлектронным умножителем в электрические импульсы. Компьютер со специальным программным обеспечением регистрирует среднюю за одинаковые периоды скорость счета импульсов. В состоянии полного радиоактивного равновесия между радонном и продуктами его распада скорость счета импульсов пропорциональна объемной активности радона в камере. Для исключения возможной конденсации водяных паров на сцинтилляционной пластине при повышенной влажности воздуха в камере и вследствие этого ухудшения чувствительности детектора в установке предусмотрен подогрев пластины нагревательным элементом.

Разработанный метод и экспериментальная установка использованы для определения коэффициентов диффузии радона в рулонном кровельном и гидро-

Таблица 2

Вариант	Материалы слоев	$h$ , м	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$D$ , м <sup>2</sup> /с	$A_{Ra}$ , Бк/кг	$k_{эм}$	ППР, мБк/(м <sup>2</sup> с)	$K$
1	Открытый грунт	10	2100	$5 \times 10^{-6}$	30	0,4	82	–
2	Бетон тяжелый	0,1	2400	$10^{-7}$	20	0,2	17	4,8
	Бетонная подготовка	0,05	2200	$3 \cdot 10^{-7}$	20	0,2		
	Песчаная подсыпка	0,1	1900	$7 \cdot 10^{-6}$	12	0,2		
	Грунт	10	2100	$5 \cdot 10^{-6}$	30	0,4		
3	Бетон тяжелый	0,1	2400	$10^{-7}$	20	0,2	2	41
	Два слоя Техноэласта	0,01	1000	$10^{-10}$	0	0		
	Бетонная подготовка	0,05	2200	$3 \cdot 10^{-7}$	20	0,2		
	Песчаная подсыпка	0,1	1900	$7 \cdot 10^{-6}$	12	0,2		
4	Бетон тяжелый	0,2	2400	$10^{-7}$	20	0,2	10	8,2
	Бетонная подготовка	0,05	2200	$3 \cdot 10^{-7}$	20	0,2		
	Песчаная подсыпка	0,1	1900	$7 \cdot 10^{-6}$	12	0,2		
	Грунт	10	2100	$5 \cdot 10^{-6}$	30	0,4		

изоляционном наплавленном битумно-полимерном материале Техноэласт (ТУ 5774-003-00287852–99) и в рулонном гидро- и газоизоляционном наплавленном битумно-полимерном материале Техноэласт АЛЬФА (ТУ 5774-041-17925162–2006).

Результаты проведенных измерений и расчетов представлены на рис. 3 и в табл. 1.

Полученные результаты использованы для расчетной оценки эффективности применения испытанных материалов для повышения радонозащитной способности подземных ограждающих конструкций здания – монолитных бетонных (класс бетона В20–В25, марка W6), полов техподполий и др. Расчеты выполнены представленных в [4] методом.

Состав рассматривавшихся полов, расчетные значения физических характеристик материалов слоев (коэффициента диффузии  $D$ ; удельной активности  $A_{Ra}$ , коэффициента эманирования  $k_{эм}$ ) и результаты расчета приведены на рис. 4 и в табл. 2. В качестве критерия оценки радонозащитной способности материалов конструкции использовали величину  $K$  – отношение плотности потока радона ППР на поверхности открытого грунта к ППР на внешней поверхности конструкции пола.

Из табл. 2 видно, что если бетонный толщиной 100 мм пол без гидро- и газоизолирующего слоя снижает выделение радона в окружающее пространство в 4,8 раза, то при наличии такого слоя выделение радона снижается в 41 раз (при

увеличении толщины слоя бетона до 200 мм выделение радона снижается в 8 раз). Таким образом, рулонные материалы типа Техноэласт могут быть эффективно использованы для противорадиационной защиты зданий. Важно отметить, что при открытой поверхности грунта происходит беспрепятственная разгрузка почвенного радона в атмосферу и поэтому его концентрация (объемная активность) в поверхностных слоях земли невелика. Конструкция пола создает препятствие для выхода радона, вследствие чего его концентрация в верхних слоях грунта под полом резко возрастает. Увеличение перепада концентраций радона в воздухе, содержащемся в почве, и в воздухе в здании активизирует процесс эффузии радона через трещины и швы. Поэтому при устройстве противорадиационной защиты очень важно обеспечить трещиностойкость бетона, сплошность гидро- и газоизолирующих слоев, а также уплотнение стыков между элементами ограждающих конструкций.

Список литературы

1. СП 2.6.1.758–99. Нормы радиационной безопасности (НРБ–99). М.: Минздрав России, 1999.
2. СП 2.6.1.799–99. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99). М.: Минздрав России, 2000.
3. СП 11-102–97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 1997.
4. Гулябянц Л.А., Лившиц М.И. Расчет концентрации радона в помещениях проектируемых зданий // АНРИ. 2007. № 4.
5. Гулябянц Л.А., Лившиц М.И., Цапалов А.А. Теоретическая основа метода измерения коэффициента диффузии радона в пористой среде // АНРИ. 2006. № 2.

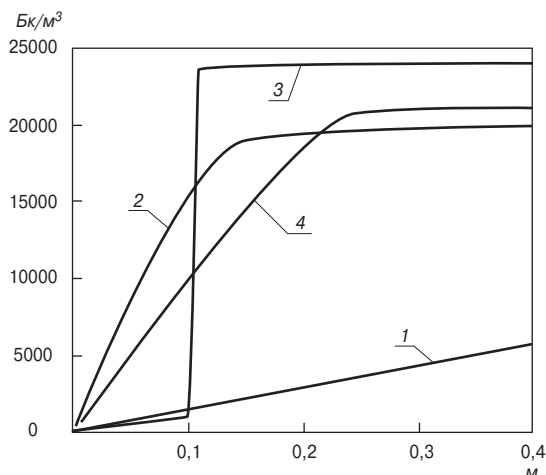


Рис. 4. Распределение объемной активности радона (Бк/м<sup>3</sup>) в грунте (1); по толщине конструкции пола на грунте (2–4). Координата  $x=0$  соответствует внешней поверхности грунта (пола)

В НИИ строительной физики РААСН разработан метод определения коэффициента диффузии радона в бетонах, рулонных, пленочных, обмазочных и др. изоляционных строительных материалах. Коэффициент диффузии радона – основная характеристика материала, определяющая его способность препятствовать проникновению радона из грунтового основания в здание

НИИСФ РААСН 127238, Москва, Локомотивный пр., д.21  
 Лаборатория радиационной безопасности. Тел.: (495) 482-39-65  
 E-mail: loren@ld-art.com

## Тестирование метода решения трехмерной задачи совместного тепло- и влагопереноса

В [1, 2] предложен метод решения трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий. Этот метод реализован в компьютерной программе, позволяющей производить расчеты трехмерных нестационарных температурных и влажностных полей в краевых зонах неоднородных участков ограждающих конструкций зданий. В настоящей работе проведено тестирование разработанного метода и компьютерной программы на аналитическом решении, последовательности пространственных и временных сеток, экспериментальных данных.

Рассмотрим однослойную однородную наружную стену толщиной 0,4 м, выполненную из пенобетонных блоков ( $\rho_0 = 600 \text{ кг/м}^3$ ) на цементно-песчаном растворе. Стена оштукатурена с внутренней и наружной стороны цементно-песчаным раствором толщиной 0,02 м. Здание жилое, район строительства Волгоград. Параметры микроклимата здания:  $t_{int} = 20^\circ\text{C}$ ,  $\phi_{int} = 55\%$ ,  $\Theta_p^{int} = 95 \text{ кДж/кг}$ . Параметры климата:  $t_{ext} = -9,5^\circ\text{C}$ ,  $\phi_{ext} = 85\%$ ,  $\Theta_p^{ext} = 11 \text{ кДж/кг}$ . Коэффициенты тепло- и влагообмена у внутренней поверхности:  $\alpha_h^{si} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$ ;  $\alpha_m^{si} = 5,2 \cdot 10^{-9} \text{ кг/[м}^2\cdot\text{с}\cdot(\text{кДж/кг})]$ ; у наружной поверхности:  $\alpha_h^{se} = 23 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$ ;  $\alpha_m^{se} = 10,4 \cdot 10^{-9} \text{ кг/[м}^2\cdot\text{с}\cdot(\text{кДж/кг})]$ . Начальные условия соответствуют моменту ввода конструкции в эксплуатацию:  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ;  $\Theta_{p0} = 95 \text{ кДж/кг}$ . При расчете тепловлажностного состояния ограждения внутренних и наружный защитно-отделочные слои не учитываются.

Наибольший практический интерес представляет исследование влагопереноса в ограждающей конструкции при многолетней эксплуатации.

Аналитическое решение задачи определения влажностного состояния рассматриваемой конструкции в стационарных условиях влагопередачи дает линейное распределение абсолютного потенциала влажности  $\Theta_p(x)$  по толщине конструкции:

$$\Theta_p(x) = 87,2 - 180,4x \quad (1)$$

Для численного решения трехмерной задачи использована равномерная пространственная сетка с шагом  $\Delta h = 0,04 \text{ м}$ . Общее число узлов 1728. Временной шаг  $\Delta t = 2 \text{ сут}$ . Для исключения влияния температуры на влажностное состояние ограждения тепловлажностные характеристики материала приняты постоянными:  $\lambda_h = 0,22 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$ ,  $\lambda_m = 2,25 \cdot 10^{-10} \text{ кг/[м}\cdot\text{с}\cdot(\text{кДж/кг})]$ . Расчет

выполнен до установления квазистационарного влажностного режима ограждения.

Результаты расчета влажностного состояния стены, полученные по компьютерной программе, представлены в таблице в виде распределения абсолютного потенциала влажности  $\Theta_p(x, \tau)$  по координате  $x$  с течением времени  $\tau$  (по двум другим координатам распределение  $\Theta_p$  равномерное).

На основании интерполяции табличных данных кубическими сплайн-функциями построен график  $\Theta_p(x, \tau)$  (рис. 1), маркерами показаны результаты численного решения. Из графика (рис. 1) видно, что с течением времени происходит сушка ограждения. Сушку можно условно разделить на два этапа. На первом этапе происходит интенсивная сушка наружного поверхностного слоя конструкции за счет разности абсолютного потенциала влажности наружной поверхности и наружного воздуха. При этом абсолютный потенциал влажности внутреннего поверхностного слоя ограждения практически не изменяется. На втором этапе происходит сушка внутреннего поверхностного слоя за счет разности абсолютного потенциала влажности внутреннего и наружного слоев. Кривые  $\Theta_p(x, \tau)$  с течением времени приближаются к предельному состоянию, характеризующему стабилизацию процесса. Установление влажностного состояния происходит спустя 2,5–3 года с момента ввода в эксплуатацию. Дальнейшего изменения  $\Theta_p$  в конструкции с течением времени не происходит.

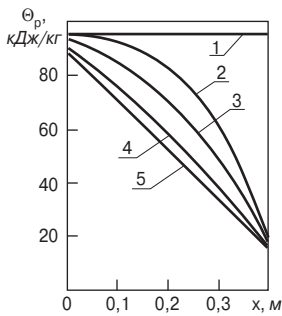
Сравнение результатов численного решения задачи в установившихся условиях влагопередачи с аналитическим решением (1) показывает их хорошую сходимость. Максимальная относительная ошибка по отношению к аналитическому решению составляет 2,42% в сечении  $x = 0,38 \text{ м}$ .

Анализ результатов расчета при различных начальных условиях ( $\Theta_{p0} = 6 - 150 \text{ кДж/кг}$ ) показывает независимость результата от выбора начальных условий, что подтверждает единственность численного решения.

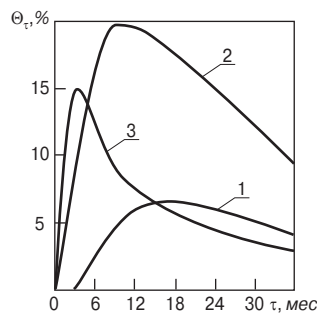
Для определения погрешности в зависимости от выбора пространственной и временной сеток проведено тестирование на последовательности пространственных и временных сеток с шагом  $\Delta t = 1, 2, 4 \text{ сут}$  и фиксированным шагом по пространству  $\Delta h = 0,04 \text{ м}$ . Рассмотрена последователь-

τ, мес	Значения $\Theta_p$ , кДж/кг, при $x$ , м									
	0,02	0,06	0,1	0,14	0,18	0,22	0,26	0,3	0,34	0,38
0	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	95	95	95	95	95	93,4	89,6	81,4	66,3	42,8
3	95	94,2	92,7	90,1	86,1	80	71,4	60,1	46	29,7
6	91,7	88,5	84,7	79,8	73,7	66,3	57,6	47,5	36,4	24,4
12	87	81,1	75	68,5	61,6	54,2	46,4	38,2	29,6	20,8
18	85,3	78,5	71,6	64,6	57,5	50,2	42,7	35,1	27,4	19,7
24	84,7	77,6	70,5	63,3	56,1	48,8	41,5	34,1	26,7	19,3
30	84,5	77,3	70,1	62,9	55,6	48,3	41,1	33,8	26,5	19,1
36	84,4	77,2	70	62,7	55,5	48,2	40,9	33,6	26,4	19,1

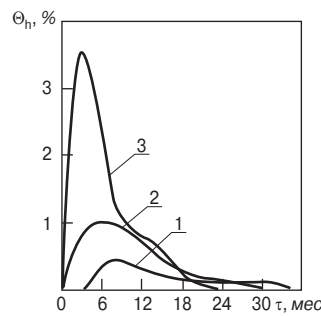




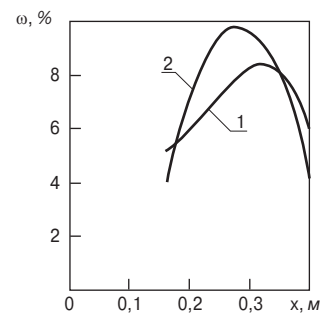
**Рис. 1.** График распределения абсолютного потенциала влажности  $\Theta_p(x, \tau)$  по координате  $x$  с течением времени  $\tau$ : 1 –  $\tau=0$ ; 2 –  $\tau=3$ ; 3 –  $\tau=6$ ; 4 –  $\tau=12$ ; 5 –  $\tau=36$  мес



**Рис. 2.** График изменения ошибки  $O_\tau$  с течением времени  $\tau$  для различных координат конструкции: 1 –  $x=0,02$ ; 2 –  $x=0,2$ ; 3 –  $x=0,38$  м



**Рис. 3.** График изменения ошибки  $O_h$  с течением времени  $\tau$  для различных координат конструкции: 1 –  $x=0,02$ ; 2 –  $x=0,2$ ; 3 –  $x=0,38$  м



**Рис. 4.** Профиль влагосодержания  $w(x)$ : 1 – расчет по компьютерной программе; 2 – расчет по формуле (2) на основании экспериментальных данных

ность пространственных сеток с шагом  $\Delta h=0,02, 0,04, 0,08$  м и фиксированным шагом по времени  $\Delta \tau=2$  сут. За базовый принят вариант с  $\Delta \tau=2$  сут и  $\Delta h=0,04$  м, так как он хорошо согласуется с аналитическим решением.

На рис. 2 представлен график изменения ошибки  $O_\tau$ , связанной с различным выбором временного шага  $\Delta t$ . График построен на основании обработки результатов численного решения задачи кубическими сплайн-функциями. Ошибка  $O_\tau$  вычислена при сравнении варианта  $\Delta t=4$  сут с базовым. Из графика (рис. 2) видно, что в любом сечении конструкции ошибка  $O_\tau$  с течением времени сначала увеличивается до некоторого максимального значения, а затем уменьшается. Значения максимума для различных сечений конструкции не совпадают во времени. Максимальная относительная ошибка  $O_\tau^{\max}=19,6\%$  в сечении  $x=0,2$  м. При сравнении варианта  $\Delta t=1$  сут с базовым максимальная относительная ошибка  $O_\tau^{\max}=1,2\%$ .

На рис. 3 представлен график изменения ошибки  $O_h$ , связанной с различным выбором пространственного шага  $\Delta h$ . Ошибка  $O_h$  вычислена при сравнении варианта  $\Delta h=0,08$  м с базовым. Из графика (рис. 3) видно, что в любом сечении конструкции ошибка  $O_h$  с течением времени сначала увеличивается до некоторого максимального значения, а затем уменьшается. Максимальная относительная ошибка  $O_h^{\max}=3,6\%$  в сечении  $x=0,38$  м. При сравнении варианта  $\Delta h=0,02$  м с базовым максимальная относительная ошибка  $O_h^{\max}=0,26\%$ .

Характерно, что выбор пространственного шага  $\Delta h$  оказывает меньшее влияние на точность численного решения задачи, чем выбор временного шага  $\Delta t$ .

Таким образом, для рассматриваемой конструкции высокую точность дают пространственная сетка с шагом  $\Delta h=0,02-0,04$  м и временная сетка с шагом  $\Delta t=1-2$  сут. Для удобства практического применения достаточно использовать пространственную сетку с шагом  $\Delta h=0,04$  м и временную сетку с шагом  $\Delta t=2$  сут.

Для сравнения численного решения задачи с результатами экспериментальных исследований проведено тестирование на экспериментальных данных. Для однослойных однородных стен распределение влагосодержания  $w_e(x)$  по координате  $x$  в установившихся условиях влагопередачи описывается алгебраическим уравнением второго порядка [3]:

$$w_e(x) = w_e^{se} + \frac{w_e^{\max} - w_e^{se}}{m^2} \left[ 2m - \left( \frac{x}{\delta} \right) \right] \left( \frac{x}{\delta} \right), \quad (2)$$

где  $w_e(x)$  – эксплуатационное влагосодержание;  $w_e^{se}$  – эксплуатационное влагосодержание наружного пристенного слоя, определяемое по формуле:

$$w_e^{se} = \frac{\rho_0^{\min}}{\rho_0} w, \quad (3)$$

где  $\rho_0^{\min}, \rho_0$  – плотность материала в сухом состоянии соответственно минимальная из данной родственной группы (согласно СП 23-101-2004) и расчетная;  $w$  – расчетное массовое отношение влаги в материале, соответствующее условиям эксплуатации;  $w_e^{\max}$  – максимальное влагосодержание, определяемое по формуле:

$$w_e^{\max} = k(w + \Delta w_{av}), \quad (4)$$

где  $\Delta w_{av}$  – предельно допустимое приращение влаги (по СНиП 23-02-2003);  $k, m$  – коэффициенты;  $x$  – координата (начало координатной оси совпадает с наружной поверхностью конструкции);  $\delta$  – толщина стены.

Для численного решения задачи использована пространственная сетка с шагом  $\Delta h=0,04$  м, временная сетка с шагом  $\Delta t=2$  сут. Теплофизические характеристики материала приняты в зависимости от абсолютного потенциала влажности и температуры.

На рис. 4 представлен профиль эксплуатационного влагосодержания  $w_e(x)$ , построенный по формуле (2) при следующих исходных данных:  $\rho_0^{\min}=300$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0=600$  кг/м<sup>3</sup>;  $w=8\%$  (при условиях эксплуатации А);  $\Delta w_{av}=6\%$ ;  $k=0,7$ ;  $m=0,3$  (ожидаемые значения для наиболее холодного месяца года);  $\delta=0,4$  м. Профиль  $w_e(x)$  построен в диапазоне изменения  $x=0,15-0,4$  м, так как на этом участке обеспечивается достоверность экспериментальных данных.

Сравнение результатов расчета нелинейной задачи по компьютерной программе с экспериментальными данными показывает их удовлетворительную сходимость. Максимальная относительная ошибка составляет 23,4% в сечении  $x=0,38$  м. Сравнительно большее значение ошибки можно объяснить тем, что экспериментальные данные носят обобщенный характер.

Проведенное тестирование метода решения трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий подтверждает достоверность результатов расчета по компьютерной программе, что позволяет использовать разработанный метод в проектной практике.

#### Список литературы

1. Корниенко С.В. Решение трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Строит. материалы. 2007. № 10. С. 54–55.
2. Корниенко С.В. Потенциал влажности для определения влажностного состояния материалов наружных ограждений в неизотермических условиях // Строит. материалы. 2006. № 4. С. 88–89.
3. Александровский С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. М.: НИИСФ РААСН, 2003. 332 с.

# WACKER открывает нов



Теперь две такие климатические камеры будут работать в Техническом центре



Различные модификации порошков VINNAPAS® позволяют целенаправленно регулировать свойства составов

Российским производителям сухих строительных смесей продукция химического концерна WACKER известна очень хорошо. Дисперсионные порошки и дисперсии VINNAPAS®, производимые подразделением WACKER POLYMERS, представляют собой термопластические, свободные от пластификаторов полимеры, базирующиеся преимущественно на винилацетате и этилене.

В 1957 г. химикам концерна WACKER впервые удалось добиться промышленного производства порошкообразного вяжущего в качестве добавки к сухим строительным смесям. В настоящее время компания занимает лидирующее положение на мировом рынке и в технологии производства сополимеров и тройных сополимеров на основе винилацетата. Основной областью применения дисперсионных порошков и дисперсий VINNAPAS® является промышленность строительных материалов – производство систем скрепленной теплоизоляции, строительных и плиточных клеев, бесшовных полов и саморастекающихся составов, штукатурок, ремонтных растворов, шпаклевок и др.

Производства подразделения WACKER POLYMERS располагаются в Германии, Китае и США, а разветвленная сеть сбыта и технические центры охватывают почти все части света.

При этом российский рынок в последние годы стал играть большую роль в бизнесе концерна WACKER. Стремительно развивающиеся производства высокотехнологичных материалов для строительства стали потребителями полимерных связующих. Поэтому Россия и СНГ представляют для компании WACKER один из важнейших регионов роста. Являясь лидирующим в мире изготовителем дисперсионных порошков, концерн намерен и далее расширять это направление.

Но с растущим спросом повышаются и требования к продукции. Эти требования компания WACKER всегда старалась удовлетворять, предлагая не только наилучшую продукцию, но и высококвалифицированные консультации и сервис. В октябре 2003 г. в Москве был открыт Технический центр, который стал естественным продолжением развития сервиса для российских клиентов концерна в сфере строительных полимеров. Открытие этого подразделения в России вывело деятельность концерна на качественно новый уровень, так как позволило оказывать техническую поддержку клиентам компании, производившим продукцию на основе дисперсий и дисперсионных порошков VINNAPAS®.

Технический центр является уникальной опытной лабораторией, оснащенной современным оборудованием. Заказчики концерна в России, Казахстане, Украине, Беларуси, Узбекистане и других странах СНГ получают здесь индивидуальный технический сервис и консультации по применению дисперсионных порошков и дисперсий VINNAPAS®. Высококвалифициро-



Технический центр WACKER оснащен современным испытательным лабораторным оборудованием (слева направо): прибор для измерения прочностных показателей; отрывная машина для определения эффективности клеевого состава; камера для испытания образцов на количество циклов замораживания-оттаивания



# ые возможности в России

ванные специалисты обеспечивает широкую техническую поддержку, помогают корректировать рецептуры, проводят обучение персонала заказчиков и тесно сотрудничают с государственными институтами стандартизации. Всего с 2003 г. в лаборатории Технического центра было проведено более 500 исследовательских проектов.

Пятилетие Технического центра ознаменовано расширением площади подразделения до 750 м<sup>2</sup>, что почти в два раза больше, чем в 2003 г. Одновременно лабораторию оснастили новыми контрольно-измерительными приборами, в том числе второй климатической камерой для испытания систем скрепленной теплоизоляции.

Естественным продолжением развития Технического центра в Москве стало открытие 11 октября 2008 г. Международного центра обучения и повышения квалификации – Академии VINNAPAS®. Академия концерна WACKER призвана создать отраслевую структуру, включающую заказчиков, партнеров по сбыту и экспертов. Программа работы академии предполагает обучение специалистов, находящихся на различных уровнях осведомленности по работе с порошками и дисперсиями VINNAPAS®, дает возможность получения важной теоретической информации и практических навыков. Спектр охватывает как основную информацию по полимерной химии и рецептурным ноу-хау для сухих строительных смесей, так и инновации, например в системах скрепленной теплоизоляции или саморастекающихся растворах. Семинары и учебные циклы проводятся экспертами концерна WACKER, специалистами российской промышленности стройматериалов, учеными вузов.

Обучение в Академии VINNAPAS® будет сочетать теоретические и практические занятия. Так как учебный центр расположен на территории Технического центра в Москве, его лаборатории позволяют сочетать теоретические и практические знания. Международный центр обучения и повышения квалификации в сфере строительной химии должен помочь создать идеальное содружество производителей высококачественных материалов на основе VINNAPAS®, экспертов концерна и партнеров по сбыту. И этому способствует 50-летний опыт концерна WACKER – лидера на рынке полимерных дисперсий и порошков.

## Технический центр концерна Wacker-Chemie GmbH в Москве

Россия, 117105, Москва, Варшавское ш., 37А

Тел.: (495) 363-55-45, факс (495) 111-24-14

e-mail: [info@wacker.com](mailto:info@wacker.com)



Руководитель Академии VINNAPAS® Д. Фирсаев представил план учебных циклов на полугодие 2009 г. Учебные курсы рассчитаны как на специалистов с минимальным опытом, так и на продвинутых мэтров в области сухих смесей



Руководитель Технического центра WACKER Херольд Харди (слева) в своем выступлении обозначил перспективные направления разработки рецептур смесей с применением порошков и дисперсий VINNAPAS®; справа – менеджер направления «Полимеры» С.К. Безручко



Новинка лаборатории – прибор для испытания прочности при изгибе и сжатии



В рамках открытия академии были представлены новые продукты: VINNAPAS® 3030 Н и VINNAPAS® 4410 L. Благотворное действие порошков на свойства продуктов были протестированы в зале

А.А. ОТСТАВНОВ, канд. техн. наук, В.А. УСТЮГОВ, канд. техн. наук, директор ГУП «НИИ Мосстрой»; К.Е. ХРЕНОВ, первый заместитель генерального директора, главный инженер МГУП «Мосводоканал»; В.А. ХАРЬКИН, канд. техн. наук, генеральный директор ООО «Прогресс» (Москва)

## Некоторые особенности реализации Жилищной программы России

Согласно стратегии развития России в стране должно строиться жилья не менее 1 м<sup>2</sup> на человека в год. То есть в Российской Федерации ежегодно должно вводиться в строй домов площадью около 140 млн м<sup>2</sup>. В настоящее время ежегодно вводимые объемы жилья в России примерно в два раза меньше. Это означает, что объемы строительных материалов, используемых в стране (без учета зарубежных поставок), меньше в два раза, чем необходимо для возведения зданий запланированной площадью. Это положение выдвигает перед производителями строительных материалов задачи по ликвидации указанного дисбаланса. В данном случае под строительными материалами следует понимать и строительные изделия, в том числе трубы, необходимые для устройства как внутренних, так и наружных коммунальных трубопроводов (водоснабжение, водоотведение, теплоснабжение, газоснабжение, телефонизация и т. п.). К этому следует добавить потребность в трубах, связанную с реконструкцией ветхих трубопроводов, которых в стране насчитываются многие тысячи километров. Рассмотрение в этой связи некоторых особенностей реализации жилищной программы России, связанных с применением труб из полиэтилена (ПЭ) и из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ), используемых для подземных трубопроводов, должно представлять определенный интерес для широкого круга специалистов.

Сегодня отечественная промышленность имеет возможность снабжать практически любого потребителя трубами из полиэтилена различных классов: ПЭ 32, 63, 80 и 100 (ГОСТ 1 8599–2001). Однако имеющиеся мощности используют максимум на 60%.

Трубы из указанных классов ПЭ по основным параметрам (диаметр и рабочее давление) являются практически идентичными. Все они сконструированы с учетом единого критерия. Толщина стенки выбрана из расчета обеспечения прочности (восприятие растягивающих напряжений в стенках труб под действием в трубопроводе внутреннего давления [1]) в течение всего срока эксплуатации, то есть 50 лет при условии температуры транспортируемой среды не выше 20°C.

Перед потребителями, которые используют полиэтиленовые трубы, например для бестраншейной замены ветхих напорных и самотечных трубопроводов [2, 3], возникает проблема, каким трубам (точнее, какому классу) следует отдать предпочтение, если у них один и тот же наружный диаметр  $d_e$  и они способны обеспечить надежную работу трубопровода в течение одного и того же срока эксплуатации. Оптимизацию выбора труб из ПЭ различных классов следует производить только с учетом их показателей в комплексе [4]. К ним относятся класс ПЭ, наружный ( $d_e$ ) и внутренний ( $d_v$ ) диаметры трубы, толщина стенки ( $e$ ), максимально допустимое давление воды температурой 20°C на срок эксплуатации 50 лет, отношение наружного диаметра трубы к толщине ее стенки – SDR (условная величина, которая учитывается при выборе необходимой трубы).

Для напорных трубопроводов важным показателем являются потери напора на гидравлических сопротивлениях при постоянном расходе транспортируемой по сети жидкости, а для самотечных трубопроводов – пропускная способность при сохранении постоянного гидравлического уклона после проведенной бестраншейной реконструкции.

Известно [5], что величина потерь напора ( $I$ ) и пропускаемого расхода ( $Q$ ) зависит от значений внутреннего диаметра труб. Примеры соотношения пропускной способности и гидравлических потерь напора для труб с наружным диаметром 110 мм на рабочее давление 1 МПа из ПЭ различных классов представлены в табл. 1.

В табл. 1 введены соотношения массы труб и стоимости сырья (по экспертной оценке специалистов), а также расчетное соотношение цен с учетом двойной стоимости сырья, идущего на изготовление трубы. За 100% в таблице приняты параметры труб из ПЭ 63. Приведенные данные носят ориентировочный характер в порядке постановки проблемы. По мере накопления опыта применения труб из ПЭ различных классов для бестраншейной реконструкции ветхих напорных и самотечных трубопроводов они подлежат уточнению и последующему регламентированию в том или ином нормативе.

Тем не менее можно сделать вывод, что для напорных трубопроводов вполне целесообразно применение

Таблица 1

Класс ПЭ	e, %	d <sub>v</sub> , %	Q, %	I, %	Масса труб, М, %	Стоимость, %	
						ПЭ	труб
32	183	81,6	74	276	167	150	250
63	100	100	100	100	100	100	100
80	81	104,2	108,6	81	83	150	124
100	66	107,6	114,3	69	68	200	136

Таблица 2

Диаметр труб, мм,		Толщина стенки, мм	SDR	P, МПа	Класс трубы
условный	наружный				
100	118	6	19,7	33,4	10
150	170	6	28,3	23,9	9,2
200	222	6,3	35,2	18	9
250	274	6,8	40,3	15,7	9,06
300	326	7,2	45,3	13,8	9

труб из ПЭ более высоких классов. Несмотря на большую их стоимость, затраты на электроэнергию будут значительно меньшими. Стоимость расходуемой на перекачку по трубопроводу жидкости прямо пропорциональна потерям напора, а трубы из ПЭ более высокого класса позволяют понижать гидравлические потери напора за счет большего внутреннего диаметра.

Так как надежность самотечных (безнапорных) трубопроводов определяется качеством обустройства грунтовых зон вокруг них, в СП 40-102-2000 применение полимерных труб для этих целей ограничивается показателем кольцевой жесткости 10 кПа. В этой связи из данных, приведенных в [4], следует, что могут применяться трубы из ПЭ 63 – до  $SDR = 17,6$ ; из ПЭ 80 – до  $SDR = 21$ . Трубы из ПЭ 100 применять для устройства безнапорных трубопроводов не следует вообще ввиду их большой стоимости. Для бестраншейной замены самотечных трубопроводов применение труб из ПЭ 63 с  $SDR = 11$ , ПЭ 80 с  $SDR < 7,6$ , так же как и труб из ПЭ 100, возможно только после научного и экспериментального обоснования.

Другой материал, трубы из которого применяют уже более 100 лет, высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ), по прочностным и деформативным показателям значительно отличающийся от обычного серого чугуна. Эти свойства получены за счет модифицирования жидкого чугуна магнием, в результате которого частицы графита в ВЧШГ находятся в виде маленьких сфер, исключая любой риск образования и распространения трещин и одновременно придавая чугуну пластичность. Его относительная деформация при разрыве 10%, прочность при разрыве 400, условный предел текучести 300 МПа. Улучшение гигиенических свойств таких труб по сравнению с чугунными трубами обеспечивается за счет цементно-песчаного покрытия (ЦПП) на внутренней поверхности.

Однако оптимальное применение труб из ВЧШГ в коммунальных трубопроводах на данном этапе крайне затруднительно [6], так как в СНиПах сведения по проектированию, расчету и строительству напорных трубопроводов из них отсутствуют. Единственным документом по этому вопросу был Свод правил СП 40-106-2002, который содержит в том числе указания о необходимости расчетов на совместное действие внутреннего гидравлического давления и внешней нагрузки, однако в нем нет соответствующей методики. Включенные в СП 40-106-2002 трубы диаметром до 1000 мм из-за закрытия Синарского механического трубного завода (г. Усть-Каменск) больше не производят. Выпущенный свод правил СП 40-109-2006 распространяется на трубы только до диаметра 300 мм.

Трубы из ВЧШГ в России теперь производит по международной классификации только ЛМЗ «Свободный сокол» (Липецк) [7], практически только одного класса (табл. 2). В итоге эффективно использовать их возможно только при каком-то одном рабочем давлении (P).

Номенклатура труб из ВЧШГ охватывает 5 вариантов условных диаметров, следовательно, и 5 внутренних диаметров. Условный диаметр – условно принятая величина пропускной способности трубы. В этом году ЛМЗ «Свободный сокол» приступил к производству труб из ВЧШГ до диаметра размером 1000 мм. Этому предприятию требуется помощь в разработке соответствующей общероссийской и территориальной нормативно-технической документации по проектированию, монтажу, эксплуатации, ремонту и утилизации коммунальных трубопроводов труб из ВЧШГ. Поэтому придется применять одни и те же трубы для устройства любых трубопроводов независимо от внутреннего давления в сети и условий прокладки, что вряд ли совместимо с оптимизацией затрат конкретной системы коммунального водоснабжения.

Систем водоснабжения в России множество. Они могут существенно отличаться друг от друга по диаметрам (на данном этапе трубы из ВЧШГ выпускают диаметром от 80 до 1000 мм); рабочим напорам: 0,3 МПа в малоэтажном строительстве, 0,4 МПа для Москвы, для других городов не выше из-за ветхости водопроводных сетей, как правило, при новом строительстве 1 и 1,6 МПа допустимо на водоводах. Системы отличаются также применением (в грунтах различной прочности, с модулем деформации грунта от 0,02 МПа – ил, торф, до 200 МПа – скалистые и каменные грунты); монтажными технологиям (укладка в траншеях, насыпях, коллекторах, с использованием горизонтально направленного бурения, проколов, продавливания, при бестраншейной реконструкции как без разрушения, так и с разрушением ветхого трубопровода и др.); возможностями проведения ремонтных работ (в больших городах, где эксплуатационники всегда рядом и у них имеется, как правило, хорошая механическая база для проведения ремонтных работ, и наоборот, в малых населенных пунктах, где все растянуто в пространстве – длинные сети, эксплуатационники далеко, и не всегда у них есть какая-либо механическая база).

К трубам из ВЧШГ ЛМЗ «Свободный сокол» производит соединительные элементы и конструкции (отводы, тройники, переходы, муфты и т. п.) также из ВЧШГ – литые и сваркой фрагментов самих труб.

Один из концов труб и соединительных элементов, как правило, оснащен раструбом специальной конфигурации, посредством которого трубы стыкуют как между собой, так и с соединительными элементами. Места соединений уплотняются специальными резиновыми манжетами. Указанные соединения выполняются в том числе и для восприятия осевого нагружения. Соединения труб между собой и с комплектующими элементами, которые также могут воспринимать осевое нагружение, получают сваркой по торцам раструбов. К сожалению, в нормативных документах нет указаний, в каких случаях следует использовать те или иные соединения.

Для присоединения к арматуре и к стальным (и из других материалов) трубам имеются офланцованные соединительные элементы из ВЧШГ.

За рубежом трубы из ВЧШГ производят более широкой номенклатуры, отличающиеся диаметрами (40–2600 мм), классами (7, 8, 9, 10, 11, 12 и др.), рабочим давлением (1–6,4 МПа и по специальному заказу больше, по кольцевой жесткости от нескольких кПа до 1,5 десятков МПа, по допустимой овализации поперечного сечения трубы под действием грунтовых и транспортных нагрузок (от 0,45 до 4%) и т. д.

Анализ показывает, что в трубах из ВЧШГ некоторых классов, размеров заложен огромный резерв несущей способности. Это связано с тем, что толщина стенки труб определена по формуле, в которую введен коэффициент (K), используемый для указания класса толшины; он принимается из ряда целых чисел: 7, 8, 9, 10, 11, 12...

$$e = K(0,5 + 0,001d_y),$$

где  $e$  – номинальная толщина стенки труб, мм;  $d_y$  – условный диаметр труб, мм.

Но нигде не обосновано, что классифицирует применительно к напорным трубопроводам показатель класса K.

Минимальная толщина стенок труб, изготовленных центробежным литьем, и соединительных частей из ВЧШГ должна быть во всех случаях больше 6 мм.

Что касается труб класса 9, то они имеют чрезмерный для коммунальных трубопроводов запас прочности. К тому же трубы из ВЧШГ ведут себя не как жесткие, можно сказать, хрупкие, из серого чугуна, а как гибкие полимерные, которые в большинстве своем могут выдерживать овализацию (превращение кольцевого сечения в овал) и образовывать пластический шарнир («восьмерку»), то есть деформироваться до соприкосновения внутренних стенок трубы без разрушения.

Благодаря этому свойству трубопроводы из них проектируют так, чтобы при эксплуатации они работали до полной реализации своей несущей способности.

Выполненные предварительные расчеты показывают, что для реальных напорных трубопроводов, уложенных в различных грунтовых условиях, толщина стенки труб из ВЧШГ некоторых диаметров с точки зрения минимизации затрат как на строительстве, так и при эксплуатации должна быть в несколько раз меньше во всех классах, чем установлено нормами по приведенной выше формуле.

Это убеждает в том, что назрела необходимость в разработке нового экономического сортамента труб из ВЧШГ специально для коммунальных трубопроводов, чтобы можно было полностью задействовать имеющийся у них прочностной резерв. Исключением будут трубы малых диаметров, для которых толщина стенки принимается с учетом технологии их изготовления.

На первых этапах трубы для нового сортамента можно будет выбрать из имеющихся классов ( $K=7, 8, 9, 10, 11, 12 \dots$ ) с близкими значениями SDR в противоположность современному подходу (табл. 2). И согласно этому экономическому сортаменту необходимо организовывать в России производство труб из ВЧШГ большего, чем производимые ЛМЗ «Свободный сокол» (100–300 мм), диаметра – до 1000 мм, а затем при необходимости до 2600 мм.

СП 40-106-2002 и СП 40-109-2006 позволяют грамотно использовать трубы из ВЧШГ исключительно при новом строительстве, и их требования распространяются только на траншейную прокладку трубопроводов.

Российских нормативов на проведение реконструкции ветхих трубопроводов трубами из ВЧШГ нет не

только при использовании бестраншейных способов укладки, но и для традиционных технологий.

В связи с этим срочно требуется рассмотреть вопросы не только прокладки, но и перекладки трубопроводов с использованием труб из ВЧШГ при производстве работ как открытым способом, так и с использованием закрытых методов – ГНБ (горизонтально-направленного бурения), прокола, продавливания, микротоннелирования. Нельзя оставить без внимания вопросы технического надзора, испытания и сдачи трубопроводов в эксплуатацию, требования безопасности и охраны окружающей среды. Следует рассмотреть возможность использования труб из ВЧШГ также для напорной канализации.

Качественные и своевременные ответы на поставленные вопросы могут быть получены, естественно, при условии, если они будут связаны с быстрым сбором и анализом материалов теоретического и практического характера, тщательным проведением исследований, в том числе и в части разработки методик расчета прочности труб из ВЧШГ, с тем чтобы можно было выбрать экономически обоснованные трубы из имеющихся многочисленных классов по размерам с обязательным учетом особенностей устройства коммунальных трубопроводов в условиях различных территорий России, подготовкой полного комплекта нормативных документов, неременным осуществлением их гармонизации с международными нормами (не следует забывать о том, что Россия в ближайшее время может стать членом ВТО).

Участие научно-технической общественности в получении ответов на обозначенные вопросы будет достойным вкладом в реализацию Жилищной программы Российской Федерации. По рассматриваемой теме предполагается продолжить публикации в журнале и распространить их на трубы других диаметров (менее 110 мм), иных конструкций (спиральновитых, двухслойных с полыми стенками и т. п.) и из других материалов (непластифицированного поливинилхлорида, металлопластика, полипропилена, стеклобазальтопластика и др.).

#### Список литературы

1. Бухин В.Е. Четвертое поколение полиэтилена для трубопроводов. Новые материалы // Трубопроводы и экология. 2001. № 1. С. 21–24.
2. Харьков В.А. Опыт восстановления канализационных трубопроводов с использованием полимерных труб. Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении: Сб. материалов. Вып. 3. Госстрой России НИИ КВОВ. М., 2001. С. 93–96.
3. Харьков В.А. Бестраншейные технологии. Отечественные полимерные трубы для замены ветхих трубопроводов городского водоснабжения // Сантехника. 2003. № 2. С. 32–36.
4. Альперн В.Д., Удовенко В.Е. Европа и мы: взгляд со стороны // Полимергаз. 2002. № 3. С. 22–28.
5. Дубровкин С.Д., Отставнов А.А. К гидравлическому расчету канализационных пластмассовых трубопроводов // Водоснабжение и санитарная техника. 1980. № 1. С. 7–9.
6. Отставнов А.А. Использование труб из высокопрочного чугуна. Оптимизация использования труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в коммунальных трубопроводах // Сантехника. 2006. № 3. С. 8–11.
7. Отставнов А.А., Алиференков А.Д., Примин О.Г., Орлов В.А., Харьков В.А. Оценка напорных трубопроводов из ВЧШГ с использованием математической модели системы «грунт – жесткая труба» // СОК. 2006. № 6. С. 18–23.

# В издательстве «Стройматериалы» Вы можете приобрести дайджесты и специальную литературу

## Тематические дайджесты серии «Совершенствование строительных материалов»

Дайджест «**Ячеистые бетоны – производство и применение**» (Часть 1). В настоящее время он выпущен на CD. В 2005 г. издана Часть 2.

Дайджест «**Кровельные и изоляционные материалы**» включает статьи по темам: битумные, битумно-полимерные, полимерные материалы, гидроизоляция сооружений, жесткие кровли и др.

Дайджест «**Керамические строительные материалы**» (выпущен на CD) содержит информацию по следующим направлениям: отраслевые проблемы, сырьевая база, оборудование и технология, контроль качества, ограждающие конструкции.

Дайджест «**Современные бетоны: наука и практика**» содержит более 100 статей по тематическим разделам: исследование составов и свойств бетонов, исследования технологических аспектов производства бетонов, заполнители для бетонов, коррозия бетона, технология и оборудование, применение бетона и др.



## Специальная литература

### Монография «Производство деревянных клееных конструкций»

Автор – заслуженный деятель науки России, доктор техн. наук Л.М. Ковальчук.

В книге рассмотрены основные вопросы технологии изготовления ДКК, показаны области их применения, описаны материалы для их изготовления. Особое внимание уделено вопросам оценки качества, методам испытаний, приемке и сертификации клееных конструкций. В книге приведен полный перечень отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих производство и применение ДКК.



### Книга «О безопасности асбестоцементных материалов и изделий»

Авторы – канд. техн. наук С.М. Нейман, доктор хим. наук А.И. Везенцев, канд. мед. наук С.В. Кашанский.

Представлены исторические и технические сведения о производстве и свойствах хризотил-асбеста и асбестоцемента. Показано, что добыча и использование хризотил-асбеста, разрешенного к применению Конвенцией № 162 ВОЗ, возможны без вреда для человека. Охарактеризованы опасные свойства многих волокнистых заменителей хризотил-асбеста, альтернативных материалов и изделий на их основе. Книга предназначена для повышения квалификации работников асбестовой и асбестоцементной отрасли с целью проведения разъяснительной работы среди потребителей асбестоцементной продукции, строителей, работников проектных институтов, руководителей городов и регионов.



### Книга «Керамика вокруг нас»

Авторы – канд. техн. наук А.М. Салахов, Р.А. Салахова.

Керамика представлена как искусство и как продукт тонкой технологии. Показано, что свойства керамических изделий определяются химическим, минералогическим и гранулометрическим составом исходных компонентов, а также технологическими параметрами их переработки. Подробно рассмотрены глинистые минералы как основа керамического сырья. Проведено сравнение микроструктуры и минералогического состава различных видов обожженных керамических изделий, изготовленных как несколько веков назад, так и в наши дни. Книга предназначена специалистам предприятий, производящих керамические материалы, ученым-материаловедам, преподавателям, аспирантам и студентам вузов технологических и архитектурно-строительных специальностей. Будет полезна архитекторам и проектировщикам, работающим в области жилищного и гражданского строительства.



### Альбом «Малозэтажные дома. Примеры проектных решений»

Авторы – академик РААСН Л.В. Хихлуха,

Альбом включает разделы: «Односемейные жилые дома», «Многосемейные жилые дома», «Эстетические качества жилища», «Градостроительные группы». Предназначен для архитекторов, специалистов, занятых вопросами жилищного строительства, для органов исполнительной власти в области архитектуры и строительства, а также для частных застройщиков; может быть использован как методическое пособие для студентов вузов.



### «Типовые технологические карты на отделочные работы с применением комплектных систем КНАУФ». Том 1, 2, 3.

Разработаны ОАО «Тулаоргтехстрой», ООО «Кнауф Сервис», ООО «Кнауф Гипс Маркетинг».

Издание включает индивидуальные элементные сметные нормы расхода материалов и затрат труда на устройство перегородок, облицовок стен и подвесных потолков с использованием гипсокартонных и гипсоволокнистых листов; на штукатурные работы гипсовыми смесями Кнауф; на устройство сборных оснований под покрытия пола Кнауф ОП 13.

Технологические карты содержат ведомость потребности в материалах и изделиях и калькуляцию трудовых затрат, полный перечень необходимого инвентаря, приспособлений и инструмента.



Для приобретения специальной литературы обращайтесь в издательство «Стройматериалы»  
Тел./факс: (495) 976-22-08, 976-20-36 E-mail: mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

## Как подготовить к публикации научно-техническую статью (методическое пособие для начинающего автора)



Развитие стройиндустрии стимулировало развитие строительного материаловедения, что, в свою очередь, предопределило рост направляемых в редакцию статей.

Часто с просьбой о публикации обращаются аспиранты, как правило, в соавторстве со своими научными руководителями, соискатели научных степеней. За все годы существования журнала научные редакторы, члены редколлегии, редакционно-советского и большая группа специалистов-рецензентов внимательно и терпеливо помогали росту научных кадров и специалистов отрасли. Однако в последнее время все чаще в редакцию для публикации представляют слабые в научном отношении, незавершенные, незрелые работы, которые в ряде случаев не доходят даже до рецензентов и забраковываются на этапе внутриредакционного рецензирования.

Начнем с определений. Наука – система знаний о закономерностях развития природы и общества и способах воздействия на окружающий мир. Статья – сочинение небольшого размера в сборнике, журнале, газете.

Таким образом, научность труда, исследования, работы характеризуется целью проникнуть, нащупать, определить, сформулировать какую-либо новую закономерность формирования вещества или протекания процесса для практического, унитарного использования в материаловедении, прикладной механике, теплотехнике и т. д.

В нашем случае журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до 4-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость группы журналов «Строительные материалы» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи и не содержать перечень всего ранее опубликованного автором, что перегружает объем статьи и часто является элементом саморекламы.

Кроме того, статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий. Статьи, направляемые в редакцию группы журналов «Строительные материалы», должны соответствовать следующим **требованиям**:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т.п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т.п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Весь материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); распечаткой, лично подписанной авторами; 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, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства [www.rifsm.ru/avtoram.php](http://www.rifsm.ru/avtoram.php)





VI

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«РАЗВИТИЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ»

## КЕРАМТЭКС

28-29 апреля 2009 г.

г. Казань, Россия

СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ®

## Развитие керамической промышленности России

## Тематические разделы конференции

- ◆ Совершенствование производства керамических строительных материалов
- ◆ Рынок технологического оборудования для производства керамических строительных материалов
- ◆ Финансовые механизмы развития предприятий
- ◆ Отраслевая наука производству
- ◆ Применение керамических строительных материалов в современном строительстве

К проведению конференции готовится тематический номер журнала «Строительные материалы»®, в котором будут опубликованы пленарные доклады. Текст выступления и рекламные материалы должны быть предоставлены в редакцию до 15 февраля 2009 г.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ®

Телефон/факс: +7 (495) 926-22-08, 926-20-36, Лескова Елена Львовна  
www.rifsm.ru e-mail: mail@rifsm.ru

## ВОЛГАСТРОЙ ЭКСПО

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

27-30 АПРЕЛЯ 2009



КАЗАНЬ

Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8  
Выставочный центр "Казанская ярмарка"  
тел./ факс: (843) 570-51-27, 570-51-11  
www.volgastroypexpo.ru, www.expokazan.ru

ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
ISO - 9001КАЗАНСКАЯ  
ЯРМАРКА

КОЛЛЕГИ



**К 75-летию Г.Р. Буткевича**

6 ноября исполняется 75 лет Г.Р. Буткевичу — кандидату технических наук, почетному строителю России, действительному члену Российского научно-технического общества строителей, почетному академику Академии горных наук, ученому секретарю ФГУП «ВНИПИИстромсырье».

После окончания в 1957 г. Московского горного института Г.Р. Буткевич работал на карьерах мастером, сменный инженером, начальником участка. В 1960 г. он перешел на работу в институт ВНИПИИстромсырье (институт менял названия), занимая должности от младшего научного сотрудника до заведующего отделом. В настоящее время Георгий Романович — ученый секретарь института.

Г.Р. Буткевич постоянно принимает участие в общественно-инженерной деятельности. Сотрудничает с РНТО строителей с момента образования в 1967 г. секции «Нерудные строительные материалы». В настоящее время он является председателем секции. Георгий Романович активно участвует в организации конференций, конкурсов, многочисленных семинаров, а в последние годы и выставок. С 1962 г. он становится постоянным автором журнала «Строительные материалы», является членом редакционного совета журнала. Избран в состав правления ассоциации «Недра» — некоммерческого объединения производителей и потребителей природных строительных материалов, объединившей в своих рядах около 100 организаций.

Г.Р. Буткевич всю жизнь проработал в горной отрасли промышленности строительных материалов. Он является автором и соавтором более 190 печатных работ в отечественных и зарубежных изданиях, 50 статей в газетах, 20 изобретений. Направление научной деятельности — тенденции развития горной отрасли промышленности строительных материалов.

*Редакция и редакционный совет сердечно поздравляют Георгия Романовича с 75-летием и желают ему крепкого здоровья, оптимизма и дальнейших творческих успехов.*

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**В Карелии заработал новый щебеночный карьер**

В конце сентября недалеко от поселка Сосновец (Беломорский район) была сдана в эксплуатацию первая очередь нового карьера по добыче и производству строительного щебня. В год здесь предполагается добывать до 2 млн м<sup>3</sup> щебня. По соседству — еще несколько подобных месторождений камня. Общий запас трех месторождений составляет более 150 млн м<sup>3</sup>. По оценке горных специалистов развитие подобных карьеров для севера Карелии — дело новое. На производстве вахтовым методом уже трудятся 130 человек, всего же будет занято до 400.

Инвестировала производство финансовая группа с иностранным капиталом. Вложено около 20 млн USD. Разработка карьера влечет за собой строительство дорог, линии электропередачи, обустройство передвижных фабрик по переработке щебня. 2 км железнодорожного тупика отстроены, протянута линия для подачи электроэнергии, работает мощная импортная техника, скоро будет установлена дробильная фабрика. С приходом навигации будущего года инвесторы хотят решить вопрос по транспортировке щебня по Беломорско-Балтийскому каналу.

По материалам пресс-службы  
Правительства Республики Карелия

**«УРСА Евразия» открывает новый завод**

В сентябре 2008 г. в г. Серпухове Московской области состоялось торжественное открытие нового производственного центра компании «УРСА Евразия» — завода по производству теплоизоляции из экструдированного пенополистирола URSA XPS®. Завод стал третьим производственным центром URSA на территории России. Мощность предприятия составляет 240 млн м<sup>3</sup>. Инвестиции в новое производство составили около 20 млн евро. При

производстве XPS используются бесфреоновые компоненты на основе элементов, естественным образом присутствующих в атмосфере.

Весь комплекс работ по строительству нового производственного центра удалось провести всего за один год.

В дальнейших планах компании — увеличение присутствия на российском рынке за счет расширения мощностей завода по производству стекловолокна URSA GLASSWOOL® в г. Серпухове в 2009 г.

Собственная информация

**Новый завод железобетонных изделий в Калининградской области**

Группа компаний «М-ИНДУСТРИЯ» (Санкт-Петербург) начала строительство завода ЖБИ «Плантенк» в г. Гусев Калининградской области.

Инвестиции в проект составят 890 млн р. Производственная мощность завода превысит 200 тыс. м<sup>2</sup> сборного железобетона в год. Строительство планируется вести в 3 очереди. Первая очередь — строительство бетонно-смесительного узла и первого формовочного пролета намечена на 2009 г. Возведение второго цеха для изготовления стеновых панелей и запуск арматурного производства — в рамках второй очереди на 2009–2010 гг. Строительство третьей

очереди компания намерена завершить в 2011 г. Новое производство позволит создать более 200 рабочих мест.

«М-ИНДУСТРИЯ» выводит на рынок строительных материалов Калининградской области новую технологию сборно-монолитного каркаса (СМК). Использование технологии СМК позволит сократить инвестиционно-строительный цикл. Строительство жилого дома площадью 12 тыс. м<sup>2</sup> займет около 4 месяцев. Кроме того, технология позволит сэкономить до 5 тыс. р. за м<sup>2</sup>. Продукции нового завода хватит, чтобы дополнительно вводить в регионе до 250 тыс. м<sup>2</sup> жилья в год.

По материалам пресс-службы  
Группы компаний «М-ИНДУСТРИЯ»

КОЛЛЕГИ



**К 65-летию А.П. Пичугина**

*Редакция и редакционный совет поздравляют Анатолия Петровича Пичугина, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой теоретической и прикладной физики Новосибирского государственного аграрного университета, члена редакционного совета журнала.*

А.П. Пичугин родился 22 октября 1943 г. в г. Уссурийске Приморского края. В 1962 г. он поступил на инженерно-строительный факультет Дальневосточного политехнического института им. В.В. Куйбышева, после окончания которого остался для научно-исследовательской и преподавательской работы. В 1969 г. А.П. Пичугин поступил в аспирантуру Московского инженерно-строительного института на кафедру полимерных строительных материалов к профессору В.А. Воробьеву. Через три года Анатолий Петрович успешно защитил диссертационную работу на соискание ученой степени кандидата технических наук. С 1971 по 1975 гг. Анатолий Петрович работал доцентом на факультете «Гидромелиорация» Приморского сельскохозяйственного института, а с 1975 по 1978 гг. — заведующим кафедрой охраны труда и строительного дела Дальневосточного технологического института.

В 1978 г. А.П. Пичугин начинает работать в Новосибирском государственном аграрном университете. На протяжении тридцати лет работы в агроуниверситете Анатолий Петрович постоянно занимается научно-исследовательской работой. Основное направление научных исследований — повышение коррозионной стойкости используемых материалов для полов и ограждающих конструкций животноводческих помещений. А.П. Пичугиным были разработаны научные основы и критерии оценки материалов по их диффузионным характеристикам и проницаемости. Предложенные рекомендации внедрены во многих организациях России и стран СНГ. Им организована научно-исследовательская лаборатория строительных материалов, в которой за прошедшие годы подготовлено четырнадцать кандидатских и две докторские диссертации. В настоящее время А.П. Пичугин — декан факультета государственного и муниципального управления.

А.П. Пичугин является автором более четырехсот научных трудов, в том числе двадцати книг и учебных пособий, а также автором около тридцати авторских свидетельств и патентов на изобретение.

*Редакция и редакционный совет желают Анатолию Петровичу крепкого здоровья, неиссякаемой энергии и дальнейших творческих успехов.*

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**Новый завод по производству силикатного кирпича**

В сентябре 2008 г. в г. Каменске-Уральском Свердловской области компания «Атомстройкомплекс» запустила завод по производству силикатного кирпича — Каменск-Уральский завод строительных материалов. Это единственное предприятие с замкнутым автоматизированным производственным циклом. Завод оснащен оборудованием немецких фирм Lasko, Vollert, Eirich, Fa Aberle, BHS, НОКА, Sander, MSK CovertchGroup. Проектная мощность ООО «КУЗСМ» составляет 45 млн шт. усл. кирпича в год (торговая марка Si Mat). Общая численность сотрудников 144 человека.

Предприятие производит силикатный кирпич всех типоразмеров и силикатный камень. Производимые кирпичи будут цветными: красного, оранжевого, желтого, голубого, зеленого, бирюзового оттенков. Соотношение по выпуску цветной/неокрашенный кирпич составляет 9/1.

По оценкам ряда экспертов, несмотря на то что в ближайшие три-четыре года структура рынка строительных материалов изменится за счет появления новых материалов и технологий и доля кирпича должна уменьшиться, он все равно останется самым популярным строительным материалом.

*По материалам ООО «Каменск-Уральский завод строительных материалов»*

**Конференция «Вермикулитовая промышленность. Состояние и перспективы развития»**

21–23 июля 2008 г. в г. Иркутске состоялась вторая конференция «Вермикулитовая промышленность. Состояние и перспективы развития». В конференции приняли участие специалисты из различных регионов России: Санкт-Петербурга, Москвы, Челябинска, Екатеринбурга, Красноярска, Владивостока, Уфы, Омска, г. Ковдора Мурманской обл., Верхней Пышмы Свердловской обл. и др.

Основной пленарный доклад о состоянии и перспективах развития вермикулитовой промышленности России представил генеральный директор ООО НППП «Техсервисвермикулит» Р.Я. Ахтямов.

Выступления большинства участников конференции были посвящены применению вспученного вермикулита и изделий из него для теплоизоляции энергетического оборудования ТЭЦ, защиты от воздействия огня металлических и железобетонных строительных конструкций, воздухопроводов и каналов дымоулавливания.

Специалисты обсудили вопросы межрегиональных связей производителей вермикулита, перспективы развития вермикулитовой промышленности, пути расширения применения вермикулита в производстве строительных и отделочных материалов.

Участники конференции дали положительную оценку проведенному мероприятию, отметив его нужность и пользу в установлении деловых связей.

*Собственная информация*



www.MVK.ru

(+7 495) 995 05 95

# Дом, в котором мы живем!



на правах рекламы



9-я Международная специализированная выставка

## ДЕРЕВЯННОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ / HOLZHAUS

13–16 ноября 2008 | Москва, МВЦ «Крокус Экспо»

www.holzhaus.ru

### Бесплатные консультации

ведущих архитекторов и строителей,  
специально приглашенных ЗАО «МVK»  
и журналом «Современный дом»

ВСЕ – ОТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДО ГОТОВОГО  
К ПРОЖИВАНИЮ ДЕРЕВЯННОГО ДОМА.  
ДОМА ИЗ БРУСА И БРЕВНА,  
КАРКАСНЫЕ ДОМА, КОМПЛЕКТУЮЩИЕ

Одновременно проходят выставки:

**МИР ОКОН И ДВЕРЕЙ / SWE**

**КЕРАМИКА И КАМЕНЬ / BAUSTEIN**

**КАМИНЫ**

Дирекция выставки:

тел./факс: (495) 982-50-65

E-mail: avh@mvk.ru,

info@mvk.ru

### Организаторы:

ЗАО «Международная Выставочная Компания»  
Российская ассоциация производителей и потребителей  
деревянных клеёных конструкций

При поддержке:

Ассоциации деревянного домостроения НП

### Информационные партнеры:



РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА ЗАО «МVK»: МVK СЕВЕРО-ЗАПАД: +7 (812) 332-15-24, МVK УРАЛ: +7 (343) 371-24-76,  
МVK ВОЛГА: +7 (843) 291-75-89, МVK ЮГ: +7 (863) 234-52-45, МVK-СИБИРЬ, г. Новосибирск, тел./факс.: (383) 201-13-68, 236-25-73, 201-13-67 e-mail: mvk3a@mail.ru