

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

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

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

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

Редакция не несет ответственности  
за содержание рекламы и объявлений

**Адрес редакции:**

Россия, 127434, Москва,  
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

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

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

### Результаты научных исследований

С.В. ФЕДОСОВ, В.Е. РУМЯНЦЕВА

#### **Модель динамики пограничного слоя при коррозионном массопереносе ..... 4**

Представлены основные стадии коррозионного массопереноса, являющиеся общими как в случае бетонных, так и железобетонных сооружений и конструкций. Приведено дифференциальное уравнение параболического типа в частных производных и его решение, описывающее диффузию агрессивного компонента к границе раздела фаз и диффузию продуктов реакции в объем жидкой фазы с граничными и начальными условиями. Основное изменение градиента концентраций компонентов происходит в узкой зоне пограничного слоя, величина которого оказывает влияние и на процессы электрохимической коррозии размерных металлических изделий и конструкций, и на процессы жидкостной коррозии бетонов.

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

#### **Влияние содержания хлоридов калия и натрия в растворе хлорида магния на вяжущие свойства магнезиального цемента. .... 7**

Установлено влияние на вяжущие свойства магнезиального цемента, полученного из доломита месторождения Руба, присутствия в затворителе ионов щелочных металлов. Показано, что их содержание в количестве, не превышающем 1,2 % KCl и 0,6 % NaCl, повышает скорость набора и показатели прочности цементного камня.

#### **VI академические чтения РААСН «Современные композиты и наносистемы в строительном материаловедении», или Инженер – это звучит гордо (Информация) ..... 10**

А.В. АРТАМОНОВА

#### **Вяжущие вещества на основе шлаков электросталеплавильного производства ... 11**

Представлены результаты исследования вяжущих свойств электросталеплавильных шлаков. Показана целесообразность активизации шлаков измельчением и жидким стеклом. Определены основные строительно-технические свойства шлаковых вяжущих. Изучено влияние условий твердения на прочность вяжущих на основе этих шлаков.

С.М. ПУЛЯЕВ, А.Р. СОЛОВЬЯНЧИК, И.С. ПУЛЯЕВ

#### **Исследование влияния добавки ViskoCrete 5 Neu на тепловыделение бетона. .... 14**

Представлены результаты натурального эксперимента и расчетного моделирования процесса тепловыделения бетона при помощи специализированной программы ZA, в результате которых установлено, что рассматриваемая добавка не оказывает существенного влияния на тепловыделение бетона массивных конструкций.

В.С. СЕМЕНОВ

#### **Противоморозные добавки для облегченных цементных систем ..... 16**

Проведен обзор традиционных и современных противоморозных добавок для бетонов и строительных растворов, проанализированы компоненты состава комплексных добавок. Оценены условия применения цементных растворов в гражданском и специальном строительстве, произведен выбор оптимальной добавки в цементные системы. Выявлены возможные негативные последствия применения комплексных противоморозных добавок. Приведены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств облегченного тампонажного раствора с полыми стеклянными микросферами с добавкой нитрата натрия, сформированного в условиях малой отрицательной температуры.

В.С. ИЗОТОВ, Р.Х. МУХАМЕТРАХИМОВ, Л.С. САБИТОВ

#### **Цементно-волоконный композиционный материал для фиброцементных плит ..... 20**

Представлены результаты разработки цементно-волоконного композиционного материала на основе целлюлозных волокон для изготовления прессованных фиброцементных плит автоклавного твердения, которые в зависимости от функционального назначения могут быть использованы для облицовки наружных стен зданий, изготовления подвесных потолков, сэндвич-панелей, межкомнатных перегородок, подоконных плит, в качестве съемной и несъемной опалубки и т. д.

В.В. ЛУКЬЯНЕНКО, Н.В. КОСТИНА

**Влияние активации на свойства строительных растворов. .... 22**

Проведены исследования влияния механической активации портландцемента и цементно-песчаных смесей на их свойства. Для активации использовался центробежно-лопаточный смеситель-диспергатор разработанный в Рыбинском авиационном университете. Механическая активация проводилась в мокром и сухом состоянии в летнее время, что обусловило повышенную температуру инертных материалов. Показаны основные технические характеристики затвердевших растворов из активированных смесей.

А.П. ПИЧУГИН, С.А. ГОРОДЕЦКИЙ, В.И. БАРЕЕВ

**Комплексная защита сельскохозяйственных объектов от коррозионного разрушения ..... 24**

Рассмотрены основные причины коррозии сооружений сельскохозяйственного назначения. Показаны основные способы защиты, описаны разработанные и внедренные составы защитных полимерсиликатных покрытий широкого спектра действия для защиты от увлажнения и коррозионных сред различных строительных конструкций и частей зданий сельскохозяйственного назначения.

А.В. КОРОЧКИН

**Алгоритм расчета покрытий жесткой дорожной одежды ..... 27**

Выполнен детальный анализ существующих методик и алгоритмов расчета покрытий жесткой дорожной одежды. Приведены положения существующих расчетов, используемые приемы, параметры, а также результаты исследований. Проведено сопоставление с методикой и последовательностью расчетов, предлагаемых в нормативных документах. Сформулированы выводы о перспективах и развитии алгоритмов вычислений и механизмов формирования напряженно-деформированного состояния конструкции.

Н.Е. КОКОДЕЕВА

**Использование геосинтетического материала при проектировании дорожных одежд нежесткого типа (с учетом теории риска) ..... 29**

При использовании ОДМ 218.5.001–2009, ОДН 218.046–01 и теории риска (проф. В.В. Столяров) выполнен сравнительный анализ оценки нарушения сплошности монолитных слоев при изгибе для дорожных одежд капитального типа с применением геосинтетических материалов и без них. Установлена эффективность использования геоматериалов (геосетки) в конструкциях дорожных одежд нежесткого типа.

С.В. КАРПЕЕВ, А.В. КОЧЕТКОВ, С.М. ЕВТЕЕВА

**Вертикальная разметка на металлических барьерных ограждениях с использованием защитных пластиковых панелей ..... 34**

Рассматривается опыт производства и применения защитных пластиковых панелей на металлических барьерных ограждениях автомобильных дорог. Представлены результаты сравнения контрастности вертикальной разметки на фоне окружающей среды.

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

**Проблемы долговечности цементных бетонов ..... 38**

Проанализировав данные по состоянию бетона в сооружениях, построенных в различное время, авторы делают вывод, что долговечность бетона снижалась одновременно с развитием технологий получения цемента и бетонов на его основе. Рассматриваются изменения в цементах и бетонах, которые могли повлиять на долговечность.

К.В. БЕЛЯЕВ, Ю.В. МАКАРЕНКОВА, Д.В. ОРЕШКИН

**Моделирование и разработка оптимальной структуры сверхлегкого цементного раствора ..... 42**

В статье рассмотрены проблемы моделирования и разработки сверхлегких цементных растворов для кладки, штукатурки и ремонта ограждающих конструкций, крепления нефтяных и газовых скважин. Приводятся гранулометрический, вещественный, минеральный, микроструктурный, химический и рентгенофазовый анализы ультрадисперсного микродура как эффективного вяжущего вещества для таких систем.

Н.А. САПЕЛИН, А.Н. САПЕЛИН

**Влияние структуры пустот на прочность теплоизоляционных силикатных материалов ..... 44**

Получено теоретическое обоснование и экспериментальные зависимости прочности от формы пустот в теплоизоляционном силикатном материале. Установлено, что наибольшая прочность получается при шаровой форме пор.

## Тематический раздел журнала

О.Ю. БИЗЯЕВ, В.З. МАРМАНДЯН, Н.Б. РЖАНКОВА, А.О. МЕЗЕНИН

**Механический делитель проб щебня ..... 51**

Показано, что существующие конструкции делителей проб применяются в рудной промышленности, в связи с чем отбор и деление проб на предприятиях нерудных строительных материалов проводятся вручную. Приводится описание конструкции нового центробежного делителя проб для нерудной промышленности строительных материалов. Проведены испытания нового оборудования с применением гранитного щебня крупностью до 20 мм. Анализ результатов исследований показал возможность успешной работы на механическом делителе с большими массами проб крупностью до 20 мм при производительности до 0,5 т/ч и частоте вращения от 27 до 54 об/мин (0,3–0,6 м/с).

В.В. СТРОКОВА, Н.В. ПАВЛЕНКО, Е.В. МИРОШНИКОВ

**Комплексная система мониторинга и управления процессом получения наноструктурированного вяжущего ..... 54**

Применительно к технологии получения наноструктурированного вяжущего реализована автоматизированная система мониторинга и управления, которая на основании анализа акустического сигнала, издаваемого мельницей, позволяет судить об эффективности процесса производства, дает возможность оператору вести наблюдение в режиме реального времени и вносить управляющие воздействия, оказывающие непосредственное влияние на качество готовой продукции. Комплексная система мониторинга позволяет отслеживать временные интервалы с критичным увеличением вязкости и своевременно вносить управляющее воздействие для разжижения вяжущей системы.

Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ, В.В. КАМЕНЕВ, В.Л. ШЛЯФЕР, В.В. ЕРМОЛАЕВА

**Автоматизация управления подвижностью цементобетонных смесей при их дискретном производстве . . . . . 57**

Рассмотрены методы автоматизированного знакового регулирования процесса производства цементобетонных смесей. Определены критерии качества дискретного процесса регулирования с учетом нестационарности объекта изготовления и особенностей подвижности цементобетонных смесей как выходного параметра.

А.И. НИЖЕГОРОДОВ

**Совершенствование технологии обжига вермикулита в электрических модульно-спусковых печах . . . . . 62**

В статье рассматривается модель процесса теплоусвоения вермикулита, позволяющая ориентировочно установить предельное значение термодинамического КПД процесса обжига для печей любого типа. На основе принципа структурной трансформации модульно-спусковых печей разрабатывается новый вариант конструктивной структуры печи, обладающей экстремальным значением КПД, равным 0,462.

А.Р. МУРЗАКОВА, У.Ш. ШАЯХМЕТОВ, К.А. ВАСИН, В.С. БАКУНОВ

**Разработка технологии получения эффективного строительного пористого тепло- и звукоизоляционного конструкционного материала . . . . . 65**

Приведена технология получения эффективных звуко-, теплоизоляционных конструкционных керамических материалов, применение которых в строительной отрасли позволит значительно повысить эксплуатационные свойства объектов.

М.Г. МЕНЖУЛИН, Г.И. КОРШУНОВ, А.А. ЖУРАВЛЕВ, П.И. АФАНАСЬЕВ

**Физико-механическое обоснование перехода к ресурсосберегающим технологиям взрывного разрушения горных пород . . . . . 67**

Рассматривается взрывное разрушение горных пород, обеспечивающее уменьшение выхода мелкой фракции и негабаритов, основанное на рассмотрении физических процессов взрывного разрушения (вида взрывчатых веществ (ВВ) и расстояния между рядами скважин).

Б.Р. РАКИШЕВ, В.В. ПОВЕТКИН

**Современная технология и оборудование для обработки блочного камня . . . . . 69**

Рассмотрены технологические схемы обработки природного камня, достоинства и недостатки станков, используемых при обработке природного камня. Предложены современные высокопроизводительные модели станков.

С.Е. ПУНЕНКОВ

**Современное состояние и перспектива развития хризотил-асбестовой отрасли в Бразилии . . . . . 73**

Описано крупнейшее предприятие хризотиловой отрасли Бразилии – национальная компания «SAMA», годовой объем производства которой составляет 250 тыс. т. Отмечено, что продукция этого предприятия полностью удовлетворяет потребности в хризотилово-волокне внутри страны, около 40% выпускаемой продукции поставляется на экспорт. Подробно представлена технология добычи и обогащения хризотиловой руды, приведены характеристики выпускаемых марок хризотила, а также соответствие их отечественным маркам. Приведены основные определяемые физико-механические показатели хризотилового волокна, такие как технологическая ценность (Wa), показатель прочности волокна (FSU), показатель качества фракционного состава (AGV) и др. Кратко представлен ассортимент выпускаемой продукции, отмечено, что наряду с традиционными для России кровельными и стеновыми листовыми изделиями в Бразилии широко используются емкости для сбора и хранения дождевой воды из хризотилцемента.

**Материалы и конструкции**

Э.В. КОТЛЯРСКИЙ

**Морозостойкость асфальтобетона . . . . . 81**

Методы испытания материалов на морозостойкость в качестве критериев рассматривают потерю массы образцов либо потерю их прочности после циклов замораживания и оттаивания. Предложена методика оценки по изменению глубины разрушения поверхностного слоя асфальтобетонных образцов и поверхностной прочности. Установлено, что интенсивность разрушения поверхностного слоя асфальтового бетона зависит от природы крупного заполнителя и содержания известнякового минерального порошка.

И.Ю. ЗАГЕР, А.А. ЯШИНЬКИНА, Л.Н. АНДРОНОВА

**Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого АО . . . . . 84**

Рассмотрены перспективы обеспечения нерудными строительными материалами Приуральского района Ямало-Ненецкого АО. Приведены характеристики щебня, производимого из горных пород различных месторождений района. Описаны свойства полезных ископаемых ряда месторождений.

С.М. НЕЙМАН, К.Н. ПОПОВ, А.Г. МЕЖОВ

**Исследование свойств хризотилцементных кровельных листов различного срока эксплуатации . . . . . 86**

Хризотилцементные кровельные листы находятся на крышах десятки лет во многих регионах России и других стран в разных климатических зонах. В работе представлены результаты исследований свойств хризотилцементных листов. Испытания образцов со сроком эксплуатации в натуральных условиях до 60 лет не выявили отклонений от нормативных требований. Неизменность толщины хризотилцементных листов в процессе их эксплуатации позволяет надежно опровергать утверждения о возможности выхода из них волокон хризотила.

**Rotband Family, или Семейство Ротбанд . . . . . 90****Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства (Информация) . . . . . 93****Новости . . . . . 94**

С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, академик РААСН, В.Е. РУМЯНЦЕВА, канд. техн. наук, Ивановский государственный архитектурно-строительный университет

## Модель динамики пограничного слоя при коррозионном массопереносе

В процессах коррозии строительных материалов – металлов (сталей, алюминия, его сплавов), а также бетона и железобетона основные фазовые и химические превращения происходят на границе раздела фаз твердое тело–жидкость (газ). При этом влияние жидкой (газовой) фазы играет определяющую роль [1–3].

Следует отметить, что немаловажным фактором является состояние сплошной среды, неподвижна она, или движется вдоль поверхности конструкции, или перемешивается. Существует фактор напорного течения жидкости через толщу конструкции [4, 5].

Модель массопереноса при коррозии может быть представлена следующими стадиями:

- диффузия продуктов агрессии из объема жидкой фазы к поверхности контакта фаз;
- химическое взаимодействие компонентов на границе раздела фаз;
- диффузия продуктов реакции в объем жидкой или накопление на поверхности твердой фазы.

В случае коррозии бетона и железобетона процессы еще более усложняются [3, 6] и включают диффузию (массопроводность) агрессивного компонента в объеме твердой фазы; образование слоя продуктов реакции, реакции с арматурой; разложение высокоосновных составляющих цементного камня, приводящее к разрушению бетонной (железобетонной) конструкции.

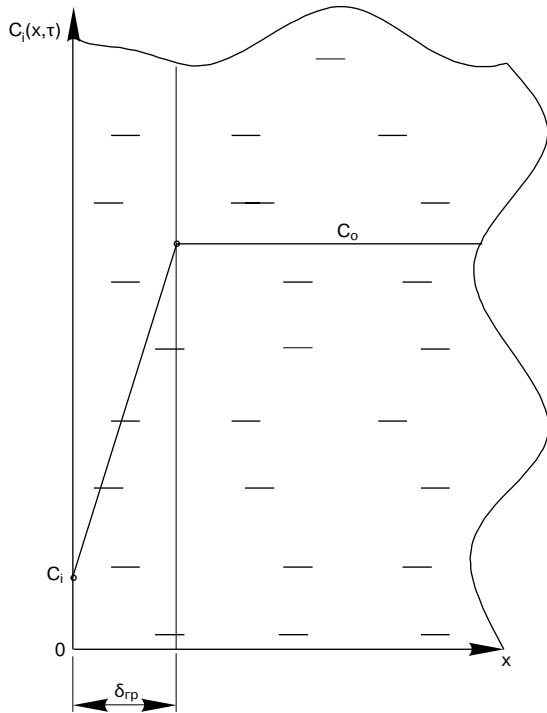


Рис. 1. Иллюстрация пограничного слоя:  $\delta_{gp}$  – толщина пограничного слоя, м

С позиций теории массопереноса [7, 8] диффузия агрессивного компонента к границе раздела фаз и диффузия продуктов реакции в объем жидкой фазы описываются дифференциальным уравнением параболического типа в частных производных:

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

где  $i = a$  – агрессивный компонент;  $i = n$  – продукт реакции;  $D_i$  – коэффициент диффузии компонента  $i$  в сплошной среде;  $C_i$  – концентрация переносимого компонента в пограничном слое, кг/м<sup>3</sup>.

Полагается, что все изменение концентрации компонентов происходит в достаточно узкой зоне пограничного слоя (рис. 1), размер которой определяется от границы раздела фаз до значения концентрации в жидкости [9]:

$$C(\delta_{gp}, \tau) = 0,99 \cdot C_0, \quad (2)$$

где  $C_0$  – концентрация компонента в ядре потока;  $\delta_{gp}$  – толщина пограничного слоя.

Рассмотрим ситуацию, когда сплошная среда находится в неподвижном состоянии. Для обоих случаев диффузии (агрессивного компонента или продукта реакции) граничным условием по жидкой фазе будет:

$$\left. \frac{\partial C_i(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=\infty} = 0. \quad (3)$$

Граничным условием на поверхности контакта для агрессивного компонента обычно является:

$$C_a(0, \tau) = 0, \quad (4)$$

поскольку полагается, что реагент полностью нейтрализуется на поверхности.

Для продукта реакции, концентрация которого на поверхности может быть обозначена как  $C_n(0, \tau)$ , запишем:

$$C_i(0, \tau) = C_n. \quad (5)$$

Заметим, что В.Г. Левич [9], изучая теорию пограничного слоя, обращается к экспериментальным данным [10], где отмечается, что даже в кажущихся неподвижными слоях, прилегающих к твердым поверхностям контакта фаз со сплошной средой, фиксируется свободно-конвективный массоперенос твердых частиц трассера. Позднее это было подтверждено и работами американских ученых, обобщение результатов исследований которых приведено в фундаментальной монографии [11].

По данным В.Г. Левича, толщина пограничного слоя при свободно-конвективном течении жидкости составляет  $\delta_{gp} \approx (0,3-0,5) \cdot 10^{-3}$  м.

Решение краевой задачи массопроводности в форме выражения (1) с граничными условиями (3) и (5) начальным условием (6):



$$C_i(x, \tau)|_{\tau=0} = C_{0,i}, \quad (6)$$

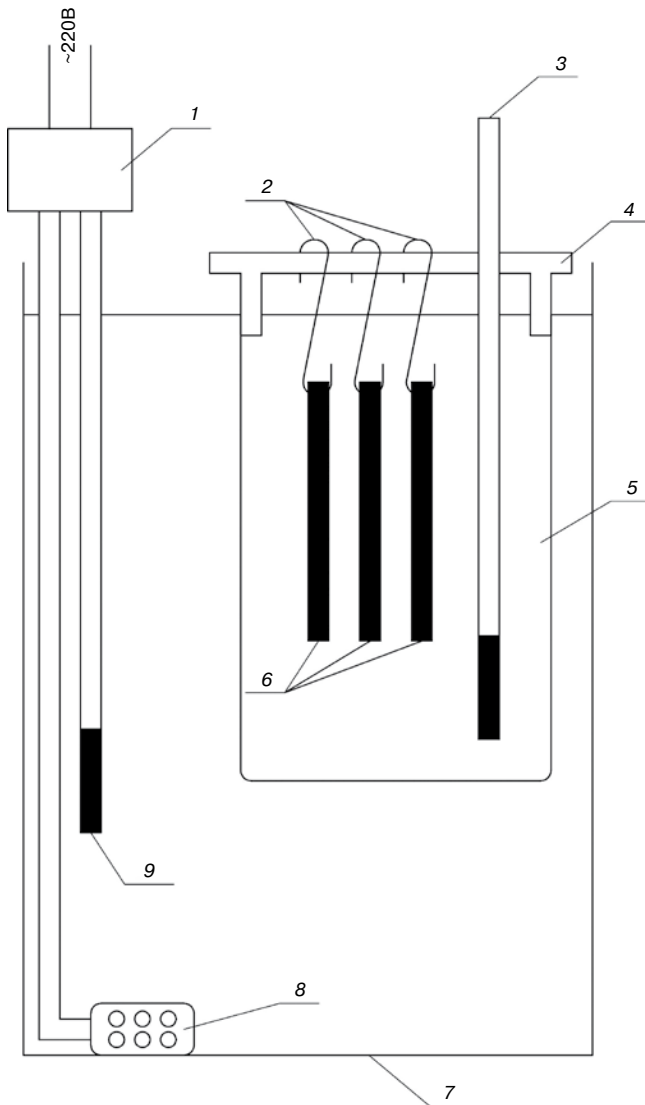
по аналогии с подобной задачей теплопроводности [8] запишется в виде:

$$\frac{C(x, \tau)}{C_{0,i}} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_i \cdot \tau}}\right). \quad (7)$$

В [12] показано, что для большинства ионов веществ, участвующих в процессах коррозии бетона и металлов (сталей), в жидкой среде характерно значение коэффициента диффузии с порядком  $D \approx (0,6-1) \cdot 10^{-9}$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ . И тогда в соответствии с пленочной теорией Льюиса-Уитмена [13] можно оценить порядок величины коэффициента массоотдачи:

$$\beta \approx \frac{D}{\delta_{sp}} \approx \frac{10^{-9}}{(0,3 \div 0,5) \cdot 10^{-3}} \approx (2 \div 3,5) \cdot 10^{-6}, \text{м/с}. \quad (8)$$

Расчеты по формулам (6), (7) показывают, что формирование пограничного слоя  $\delta_{sp} \leq 0,5$  мм происходит за время 15–20 с. Это время ничтожно по сравнению с длительностью массообменных коррозионных процессов в бетоне и железобетоне, а также в металлах.



**Рис. 2.** Схема установки для исследования кислотной коррозии металлов при стандартных условиях: 1 – электронное реле; 2 – стеклянные крючки для подвешивания образцов; 3 – термометр; 4 – планка; 5 – стеклянный сосуд с электролитом (0,1н  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); 6 – испытываемые образцы; 7 – водяной термостат; 8 – электрический нагреватель; 9 – контактный термометр

Критикуя положения пленочной теории, автор [9] на основании достаточно строгих математических выкладок получает выражение для определения плотности диффузионного потока массы вещества из объема жидкой фазы к границе раздела фаз:

$$j = 0,7 \cdot D \cdot \text{Pr}_D^{0,25} \cdot \left(\frac{g \cdot \alpha}{4 \cdot v^2}\right)^{0,25} \cdot \frac{C_0}{x^{0,25}}, \quad (9)$$

где  $\text{Pr}_D = \frac{v}{D}$  – диффузионное число Прандля;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ;  $C_0$  – концентрация переносимого компонента в объеме жидкой фазы,  $\text{кг/м}^3$ ;  $v$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $x$  – координата вертикальной поверхности,  $\text{м}$ ;  $\alpha$  – некий коэффициент.

Выражение (9) показывает, что в условиях естественной конвекции жидкости, например в резервуаре, плотность потока массы вещества изменяется по координате.

Простейшее интегрирование (9) по величине вертикальной поверхности позволяет получить уравнение для определения среднего значения плотности потока массы вещества:

$$\begin{aligned} j_{cp} &= 0,7 \cdot D \cdot \text{Pr}_D^{0,25} \cdot \left(\frac{g \cdot \alpha}{4 \cdot v^2}\right)^{0,25} \cdot C_0 \int_0^H x^{-0,25} dx = \\ &= 0,7 \cdot D \cdot \text{Pr}_D^{0,25} \cdot \alpha^{0,25} \cdot \frac{1}{v^{0,5}} \cdot 1,25 \frac{H^{0,75}}{0,75} C_0. \end{aligned} \quad (10)$$

Произведя несложные арифметические действия и подставив физико-химические параметры, получим:

$$\begin{aligned} j_{cp} &= 1,167 \cdot 10^{-3} \left(\frac{10^{-6}}{10^{-9}}\right)^{0,25} \cdot \alpha^{0,25} \cdot \frac{1}{(10^{-6})^{0,5}} \cdot x^{0,75} C_0 = \\ &= 6,56 \cdot \alpha^{0,25} \cdot 10^{-6} \cdot H^{0,75} \cdot C_0. \end{aligned} \quad (11)$$

Уравнение (9) было получено при исследовании электрохимической размерной обработки металлов.

Для рассматриваемого в работе [9] примера пластинок размером 1 см имеем:

$$H_{ni}^{0,75} = (1 \cdot 10^{-2})^{0,75} \approx 0,033. \quad (12)$$

Для железобетонного резервуара с уровнем жидкости 6 м получаем:

$$H_p^{0,75} = (6)^{0,75} \approx 3,83. \quad (13)$$

Соотношение полученных значений:

$$\frac{H_p^{0,75}}{H_{ni}^{0,75}} = \frac{3,83}{0,033} = 116. \quad (14)$$

Возникает весьма парадоксальная ситуация: плотность потока массы вещества возрастает с ростом координаты.

По-видимому, разрешение данной ситуации возможно только при использовании результатов экспериментальных исследований. В работе [14] представлены данные по определению характеристик массопереноса при магниезальной коррозии цементного камня. Установлено, что для экспериментального образца с размером грани 0,03 м значение плотности потока массы составило:

$$j = 1,2 \cdot 10^{-7}, \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}). \quad (15)$$

С учетом этого, а также того, что в экспериментах концентрация агрессивного компонента составила  $C_0 = 5$  г/л ( $5 \text{ кг/м}^3$ ), расчет по (11) дает значение для коэффициента  $\alpha^{0,25}$ :

$$\alpha^{0,25} = \frac{6,56 \cdot 10^{-6} \cdot (0,03)^{0,75} \cdot 5}{1,2 \cdot 10^{-7}} = 19,7. \quad (16)$$

Проведенный анализ показывает, что уравнения (9) и (11) с успехом могут быть использованы для анализа массообменных процессов при коррозии бетона второго вида.

Марка стали	S, м <sup>2</sup>	m <sub>0</sub> , кг	m <sub>1</sub> , кг	q, кг/(м <sup>2</sup> ·с)	q <sub>ср</sub> , кг/(м <sup>2</sup> ·с)
Ст 47	1,509·10 <sup>-3</sup>	0,02504375	0,02502845	1,408·10 <sup>-6</sup>	1,578·10 <sup>-6</sup>
	1,788·10 <sup>-3</sup>	0,02721365	0,02719365	1,553·10 <sup>-6</sup>	
	1,668·10 <sup>-3</sup>	0,02837845	0,02835715	1,773·10 <sup>-6</sup>	
Ст 45	1,648·10 <sup>-3</sup>	0,01837885	0,01836395	1,255·10 <sup>-6</sup>	1,173·10 <sup>-6</sup>
	1,72·10 <sup>-3</sup>	0,01978705	0,0197732	1,118·10 <sup>-6</sup>	
	1,65·10 <sup>-3</sup>	0,0179138	0,01790015	1,148·10 <sup>-6</sup>	
Ст 3	1,682·10 <sup>-3</sup>	0,0155925	0,01559025	1,85·10 <sup>-7</sup>	3,93·10 <sup>-7</sup>
	1,532·10 <sup>-3</sup>	0,01409565	0,01409295	2,44·10 <sup>-7</sup>	
	2,16·10 <sup>-3</sup>	0,0314739	0,0314622	7,52·10 <sup>-7</sup>	

Заметим, что в соответствии с теорией пограничного слоя на протяженных поверхностях существует две зоны: зона натекания и зона установившегося размера пограничного слоя.

При этом степенная зависимость плотности потока массы  $j$  от координаты  $x$  характерна только для участка натекания, протяженность которого определяется по уравнению [9]:

$$x_{cp} = [0,7 \cdot \delta_{cp}]^4 \cdot \text{Pr}_D \cdot \left( \frac{g \cdot C_0}{4 \cdot \nu^2} \right) \quad (17)$$

В данной формуле  $C_0$  выражается в процентах (%).

Приближенная численная оценка приводит к следующему результату:

$$x_{cp} = [0,7 \cdot (0,3 \div 0,5) \cdot 10^{-3}]^4 \cdot 10^3 \cdot \left[ \frac{9,81 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot (10^{-6})^2} \right] \approx (24 \div 185) \cdot 10^{-3}, \text{ м} \quad (18)$$

Очевидно, что размер пограничного слоя оказывает существенное влияние на величину участка формирования этого слоя. И это обстоятельство, безусловно, необходимо учитывать как в электрохимической коррозии размерных металлических изделий и конструкций, так и при назначении способов антикоррозионной защиты (пассивации).

Безусловно, следует учитывать это обстоятельство при изучении коррозии в бетонах при лабораторных испытаниях, так как действующие методики НИИЖБ [15] предполагают применение малоразмерных образцов. Отсюда возникает важная проблема масштабного перехода – пересчета результатов лабораторных испытаний на масштабные промышленные объекты.

В частности, результаты расчетов плотности диффузионных потоков для конструкций железобетонных гидротехнических сооружений, например резервуаров и испытываемых образцов, могут отличаться в 1,65 раза.

В рамках проведенных исследований в соответствии с методикой [16] была выполнена серия испытаний по взаимодействию электролита 0,1н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с образцами конструкционных сталей разных марок. Экспериментальная установка схематически изображена на рис. 2.

В таблице приведены результаты опытов с указанием площади поверхности исследуемых образцов и рассчитанные значения плотности диффузионного потока массы вещества.

При их сравнении с данными [14] можно сделать вывод, что несмотря на различие природы материалов – бетона и арматурной стали, скоростей протекания коррозионной деструкции (скорость электрохимического окисления арматурной стали значительно выше скорости коррозии бетона), рассчитанные экспериментально плотности диффузионных потоков массы вещества идентичны как для металлов, так и для бетона.

Эта тенденция дает возможность применения общего единого метода моделирования массопереноса при коррозионной деструкции, протекающей как на грани-

це раздела фаз бетон – жидкая агрессивная среда, так и на границе раздела фаз металл – жидкая агрессивная среда.

**Ключевые слова:** *коррозия, массоперенос, строительные материалы, бетон, железобетон, пограничный слой, диффузионные потоки.*

#### Список литературы

1. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Гос. изд-во литературы по строит. и архит., 1952. 344 с.
2. Иванов Ф.М. Савина Ю.А. Защита строительных конструкций промышленных зданий от коррозии. М.: Стройиздат, 1973. 174 с.
3. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. М.: ФГУП ЦПП, 2006. 520 с.
4. Федосов С.В., Базанов С.М. Сульфатная коррозия бетона. М.: Изд-во АСВ, 2003. 192 с.
5. Федосов С.В. О некоторых проблемах теории и математического моделирования процессов коррозии бетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 5. С. 20–21.
6. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С. Физико-химические основы жидкостной коррозии второго вида цементных бетонов // Строительство и реконструкция. 2010. № 4. С. 74–77.
7. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. 536 с.
8. Рудобахта С.П., Карташов Э.М. Диффузия в химико-технологических процессах. М.: КолоС, 2010. 478 с.
9. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, 1959. 700 с.
10. Глестон С. Введение в электрохимию. М.: Изд-во иностранной литературы, 1951. 730 с.
11. Гебхард Б., Джатурия Й., Махаджан Р., Саммакия Б. Свободно-конвективные течения, тепло- и массообмен. В 2-х книгах. М.: Мир, 1991. Кн. 1. 678 с.; кн. 2. 528 с.
12. Лукомский Ю.Я., Гамбург Ю.Д. Физико-химические основы электрохимии. Долгопрудный: Интеллект, 2008. 424 с.
13. Шервуд Т., Пигфорд Р.Л., Уилки Ч. Массопередача / Пер. с английского. М.: Химия, 1982. 696 с.
14. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С. Массоперенос в процессах жидкостной коррозии второго вида цементных бетонов, контролируемый диффузионно-кинетическим сопротивлением // Строит. материалы. 2011. № 1. С. 50–53.
15. Руководство по определению скорости коррозии цементного камня, раствора и бетона в жидких агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1975. 29 с.
16. Томашов Н.Д., Жук Н.П., Титов В.А., Веденева М.А. Лабораторные работы по коррозии и защите металлов. М.: Металлургия, 1971. 280 с.

УДК 666.941.3

Е.В. МАРЧИК, инженер; С.В. ПЛЫШЕВСКИЙ, канд. техн. наук;  
 М.И. КУЗЬМЕНКОВ, д-р техн. наук, профессор, учреждение образования  
 «Белорусский государственный технологический университет» (Минск);  
 В.П. ИЛЬИН, канд. техн. наук, РУП «Белорусский научно-исследовательский  
 геолого-разведочный институт» (Минск)

## Влияние содержания хлоридов калия и натрия в растворе хлорида магния на вяжущие свойства магнезиального цемента

Ранее проведенные нами исследования по разработке технологического процесса получения магнезиального вяжущего из доломита [1, 2] позволили установить, что в зависимости от режима обжига природного доломита, затворения каустического доломита, природы затворителей может быть получено вяжущее, которое по своим основным физико-механическим свойствам не уступает каустическому магнезиту. При этом было показано, что затворение каустического доломита раствором хлорида магния реактивной квалификации, бишофита карналлитовым рассолом, отличающимися различным содержанием в них примесей хлоридов калия и натрия, оказывает существенное влияние на вяжущие свойства цемента. В связи с этим было сделано предположение, что хлориды щелочных металлов являются сильными модификаторами магний-хлоридного затворителя. Этим, по-видимому, объясняется определенная противоречивость данных относительно процесса твердения магнезиального цемента на основе как каустического магнезита, так и каустического доломита.

Анализ литературных источников показал, что в работах, посвященных изучению процесса твердения магнезиального цемента, влияние примесей фактически не изучено.

В связи с этим было исследовано влияние содержания хлоридов калия и натрия в растворе хлорида магния на процесс твердения, структуру и основные физико-механические свойства магнезиального цемента.

Каустический доломит получали по методике [3], затем его измельчали в лабораторной планетарной

мельнице марки Reatsch PM 100 с получением цемента следующего гранулометрического состава, мас. %: фракция, мм < 0,032 – 1,5; 0,032–0,045 – 17,3; 0,045–0,063 – 20,1; 0,063–0,08 – 31,6; 0,08–0,1 – 10,0; 0,1–0,125 – 11,8; > 0,125 – 7,7. В качестве затворителя каустического доломита использовали раствор хлорида магния квалификации «ЧДА» по ГОСТ 7759–73 плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup> с температурой 20±2°С.

Исследования проводили на модельных образцах вяжущего, состоящего из каустического доломита и растворов хлорида магния, содержащих различное количество добавок KCl и NaCl. Их влияние на вяжущие свойства магнезиального цемента после его твердения на воздухе в возрасте 7 сут показано на рис. 1.

Как видно, содержание хлорида калия в затворителе в количестве 0,2–1,2% повышает прочность цементного камня на 10%. При дальнейшем увеличении его содержания в затворителе происходит резкий спад прочности.

Введение в раствор затворителя хлорида натрия в количестве до 0,6% также приводит к увеличению прочности цементного камня почти на 5%, однако при его содержании в затворителе более 0,6% происходит снижение его прочности. В обоих случаях изменение прочности проходит через максимум при содержании хлорида калия 0,8% и хлорида натрия 0,4%.

Рентгенографическим анализом в продуктах твердения цементного камня, полученного с использованием модифицированного затворителя, обнаруживаются следующие кристаллические фазы: Mg<sub>3</sub>(OH)<sub>5</sub>Cl·4H<sub>2</sub>O, CaCO<sub>3</sub>, реликтовые MgO, доломит и примеси. Причем

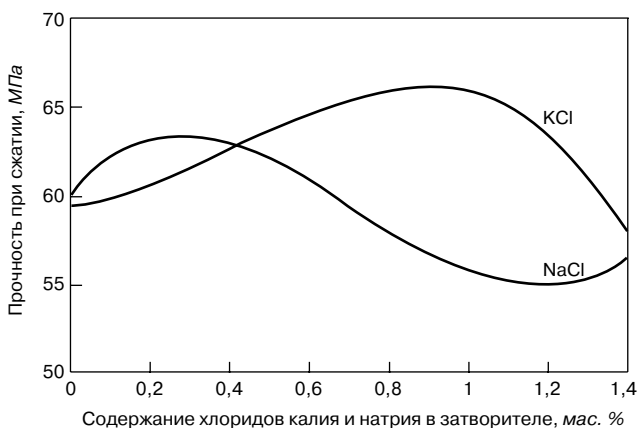


Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие магнезиального цемента от содержания в затворителе хлоридов калия и натрия

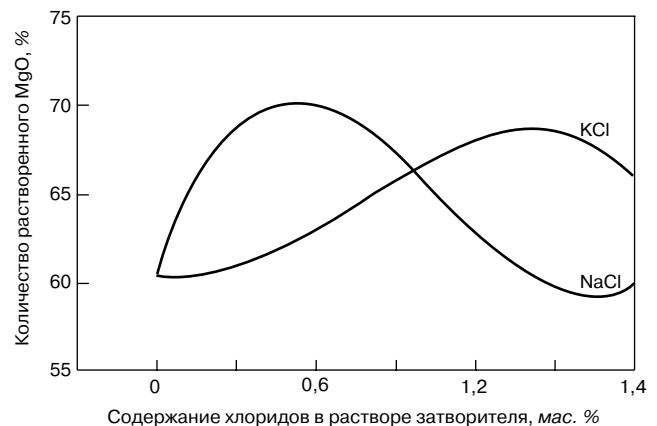


Рис. 2. Влияние содержания KCl и NaCl в затворителе на количество растворенного MgO

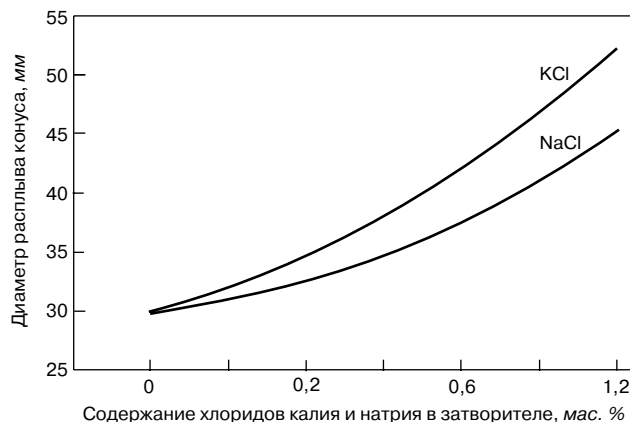
в присутствии KCl и NaCl увеличивается интенсивность пиков, характерных для  $Mg_3(OH)_5Cl \cdot 4H_2O$ , и уменьшаются пики, соответствующие MgO. Это свидетельствует о том, что хлориды щелочных металлов способствуют более полному растворению и образованию большего количества тетрагидрата пентагидрохлорида магния, формирующего структуру, а следовательно, и прочность цементного камня. Установлено, что растворимость MgO в растворе хлорида магния в присутствии KCl и NaCl на 15% выше по сравнению с исходным затворителем (рис. 2). Растворимость оценивалась по приросту массы твердой фазы после фильтрации и сушки.

Кроме того, добавка KCl и NaCl снижает вязкость цементного теста, ускоряет протекание кристаллизационных процессов в твердеющей системе, что подтверждается изменением растекаемости цементного теста (рис. 3).

На электронно-микроскопических снимках (рис. 4) хотя и не наблюдается существенной разницы в структуре цементного камня, полученного при различном содержании хлоридов калия и натрия в затворителе, однако по сравнению с контрольным образцом заметно уменьшение пористости цементного камня.

Таким образом, присутствие KCl и NaCl в растворе бишофита либо карналлита в количестве 0,1–1,2 и 0,1–0,6% соответственно приводит к росту прочности цементного камня на 10–15%. Поскольку в природных растворах бишофита и карналлита всегда присутствуют совместно как KCl, так и NaCl, были проведены исследования их общего влияния на прочностные свойства цементного камня (рис. 5).

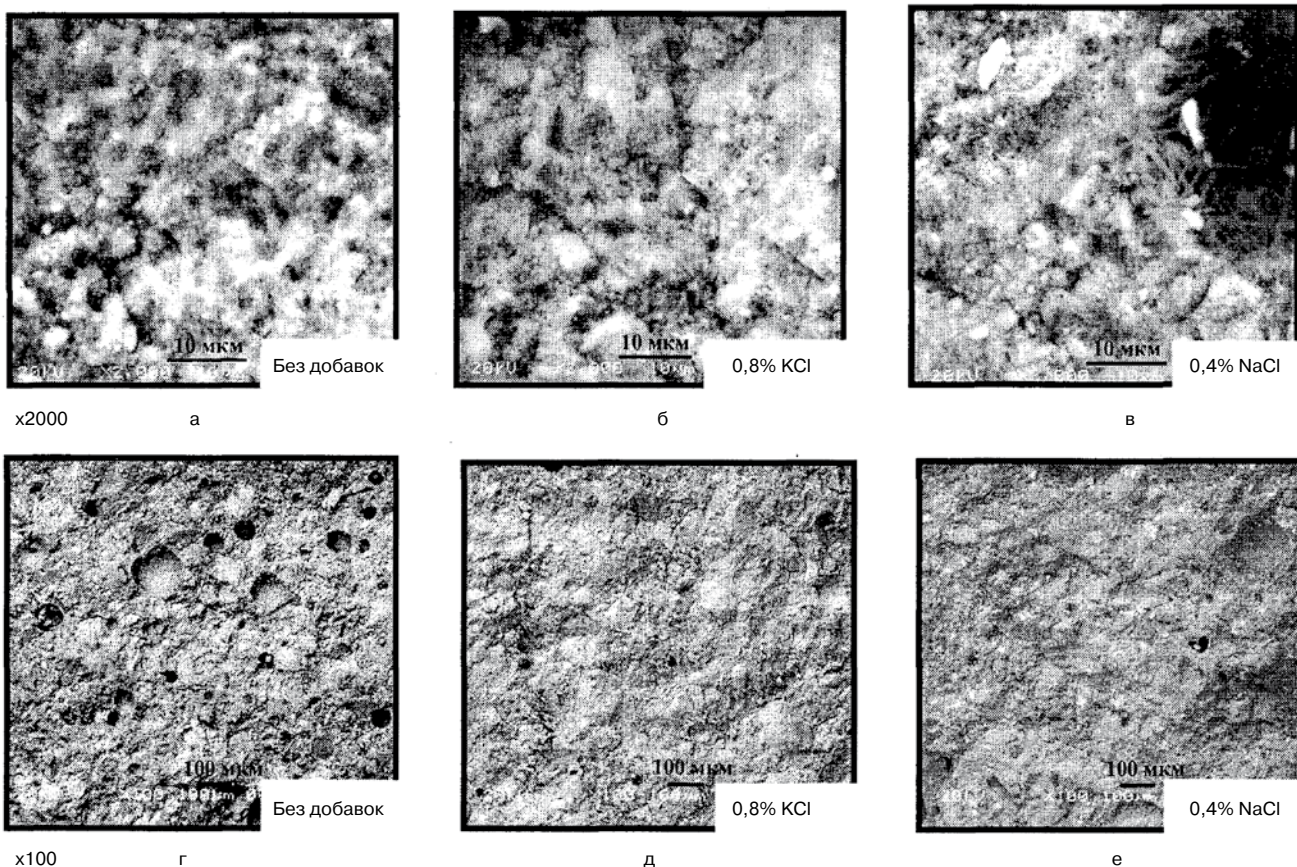
Как видно из рис. 5, совместное присутствие хлоридов калия и натрия в затворителе по-разному влияет на



**Рис. 3.** Зависимость растекаемости цементного теста от содержания в затворителе хлоридов калия и натрия

**Химический состав карналлитовых рассолов**

№ состава	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Химический состав рассола карналлита, мас. %			
		MgCl <sub>2</sub>	KCl	NaCl	H <sub>2</sub> O
1	1210	20,3	2,7	4,5	72,5
2	1230	18,7	3,2	4,8	73,3
3	1230	19,9	3,2	6	70,9
4	1260	26,6	1,8	1,3	70,3
5	1290	31,1	0,7	0,2	68
6	1330	31,3	0,4	1,3	67



**Рис. 4.** Электронно-микроскопические снимки цементного камня, полученного с различным содержанием хлоридов калия и натрия в растворе затворителя



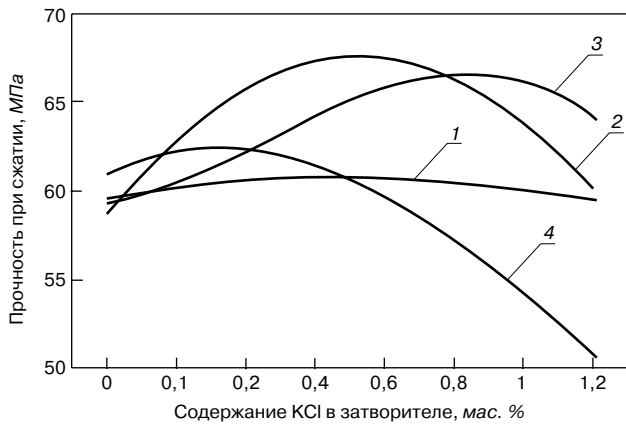


Рис. 5. Влияние совместного присутствия хлоридов калия и натрия на прочность магниезного цемента: 1 – 0,1% NaCl; 2 – 0,2% NaCl; 3 – 0,4% NaCl; 4 – 0,6% NaCl

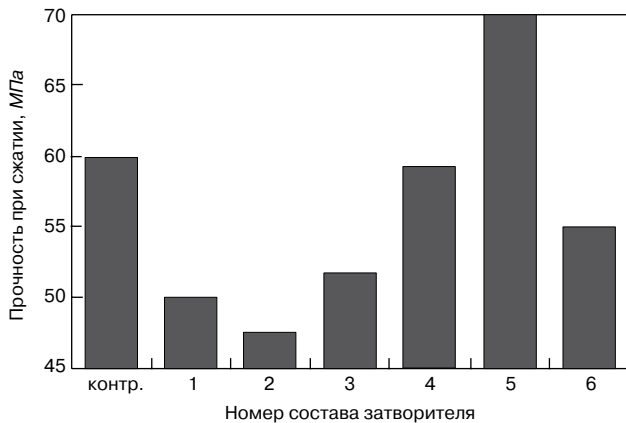


Рис. 6. Зависимость прочности на сжатие образцов магниезного цемента от состава карналлитового рассола

вяжущие свойства магниезного цемента. Высокие вяжущие свойства цемента сохраняются при содержании в затворителе добавок 0,1–1,2% KCl и 0,1–0,6% NaCl. Такое влияние на свойства магниезного цемента примесных хлоридов щелочных металлов, в частности KCl и NaCl, в растворе хлорида магния, вероятно, обусловлено деформированным состоянием кристаллической решетки  $Mg_3(OH)_5Cl \cdot 4H_2O$ . Свободные вакансии в кристаллической решетке легко заполняются одновалентными ионами калия и натрия, тем самым уплотняя структуру цементного камня и повышая его прочность. Превышение установленного предельного содержания в затворителе ионов калия и натрия ухудшает вяжущие свойства цемента.

Полученные результаты исследований использованы для определения оптимальных составов затворителей магниезного цемента на основе карналлитовых рассолов. Карналлитовые рассолы подвергались очистке от хлоридов калия и натрия путем термической обработки. Составы рассолов с различным содержанием KCl и NaCl приведены в таблице. Результаты исследований прочностных свойств магниезного цемента, затворенного ими, представлены на рис. 6.

Как видно, высокую прочность на сжатие (около 70 МПа) показывает образец вяжущего, полученного на карналлитовом рассоле № 5 плотностью 1290 кг/м<sup>3</sup> и содержанием KCl – 0,7% и NaCl – 0,2%, что согласуется с результатами исследований, полученных на модельных образцах.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено положительное влияние на вяжущие свойства магниезного цемента, полученного из доломита, присутствия в затворителе (растворе хлорида магния) ионов щелочных металлов. Их содержание в количестве, не превышающем 1,2 % KCl и 0,6 % NaCl, повышает скорость набора и показатели прочности цементного камня. Сделано предположение о возможном встраивании ионов калия и натрия в пустоты деформированной кристаллической решетки продукта твердения цемента –  $Mg_3(OH)_5Cl \cdot 4H_2O$ , за счет чего уплотняется структура цементного камня, что приводит к повышению его прочности.

**Ключевые слова:** магниезное вяжущее, твердение цемента, затворитель, хлорид магния.

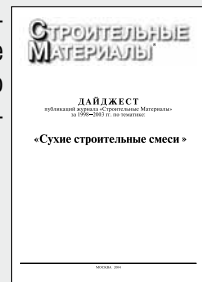
#### Список литературы

1. Кузьменков М.И., Марчик Е.В., Стародубенко Н.Г. Магниезный цемент из местного сырья. Концептуальные аспекты проблемы // Труды БГТУ. Сер. III. Химия и технология неорган. веществ. 2007. Вып. XV. С. 51–53.
2. Кузьменков М.И., Марчик Е.В., Плышевский С.В. Бетоны на основе магниезного цемента // Труды II международного симпозиума «Проблемы современного бетона и железобетона». Минск, 21–23 октября 2009 г. С. 224–231.
3. Кузьменков М.И., Плышевский С.В., Стародубенко Н.Г. и др. Способ получения каустического доломита. Пат. 10407 РБ // Опул. 12.04.07 Б.И. № 1. С. 88.

### В издательстве «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ» ВЫШЕЛ ДАЙДЖЕСТ «Сухие строительные смеси» Часть 2

В дайджест вошли статьи, опубликованные в журнале «Строительные материалы»® за 2004–2008 гг. – всего более 60 статей по тематическим разделам:

- компоненты для производства ССС;
- технология и оборудование;
- результаты научных исследований;
- применение ССС;
- рынок ССС.



Для приобретения дайджеста следует направлять заявку произвольной формы в издательство по факсу или электронной почте.

**Не забудьте указать наименование организации, почтовый адрес доставки, ФИО получателя.**

**Телефон/факс:**  
**(499) 976-20-36, 976-22-08**  
**E-mail: mail@rifsm.ru www.rifsm.ru**





## VI академические чтения РААСН «Современные композиты и наносистемы в строительном материаловедении», или Инженер – это звучит гордо



24–26 марта 2011 г. в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова состоялись очередные VI академические чтения РААСН «Современные композиты и наносистемы в строительном материаловедении».



На научный форум собрались ведущие ученые из Москвы, Воронежа, Самары, Казани, Твери, Омска, Харькова (Украина) и других научных центров России и СНГ.

Приезжая на академические чтения в Белгород каждый раз ожидаешь встречи с чем-нибудь новым, несмотря на традиционность встреч. В этот раз организаторы также приготовили участникам новшество – вебинар\*, встроенный в традиционные заседания. Таким образом, удалось существенно расширить аудиторию и слушателей, и докладчиков. В режиме онлайн с докладами выступили Х.-Б. Фишер (Vauhaus-Universität Weimar, Германия), Л.А. Урханова (Восточно-Сибирский государственный технологический университет, Улан-Удэ), М.В. Тарасова (Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, Омск). Активное участие принимали слушатели из Архангельска, Брянска, Казани, Самары.

В нашу жизнь активно входят новые технологии проведения научных встреч, конференций, семинаров и пр., которые существенным образом ускоряют обмен научными мнениями, представление и обсуждение работ.

Это, с одной стороны, приводит к ускорению обменом информацией, к ее большей доступности, а с другой – предъявляет более жесткие требования к подготовке специалистов и защите интеллектуальной собственности. Оставим за рамками обзора вопросы интеллектуальной собственности.

Каким же должен быть современный ученый? Этот вопрос волнует общество. Кроме высокой специальной подготовки, он должен знать иностранные языки, хорошо владеть современными средствами коммуникации, компьютерной техники, быть широко эрудированным. Пожалуй, эти требования можно отнести не только к ученым, таким должен быть современный специалист в любой области знания и инженерии.

Как подготовить такого инженера-строителя, инженера-технолога? В СССР существовала лучшая школа подготовки инженерных кадров, современный профессорско-преподавательский состав в основном был подготовлен в рамках еще той школы и хорошо владеет технологией обучения инженеров и технологов. Но почему же часто в технические и технологические вузы идут учиться не самые лучшие выпускники школ, почему среди абитуриентов и их родителей бытует мнение, что экономист, юрист, менеджер более успешен в современной жизни? Не потому ли, что они плохо знают те возможности, которые имеет хороший инженер и технолог в современном обществе?

Еще в конце XIX – начале XX в. слово «инженер» звучало гордо. Мы до сих пор гордимся и с уважением вспоминаем имена выдающихся инженеров того времени Д.И. Журавского, Н.А. Белелюбского, В.Г. Шухова и многих других. Может ли в XXI веке профессия инженер звучать также гордо? Может.

В марте–апреле этого года Президент РФ Д.А. Медведев провел ряд встреч и совещаний, посвященных вопросам ин-

женерного образования и повышения престижа технических специальностей. На государственном уровне уделяется повышенное внимание подготовке инженеров и инженерным специальностям с позиций создания новой экономики, модернизации технологического уклада. Очевидно, что без инженеров не обойтись новой России.

Есть хороший пример подготовки инженерно-технологических кадров в БГТУ им. В.Г. Шухова и значительные достижения молодых талантливых инженеров-технологов. Опытом и своими достижениями поделились на конференции руководители вуза и его институтов, кафедр. В университете создана инновационная среда, обеспечивающая результаты, о которых говорит вся страна.

В 2009 и 2010 гг. молодой научный коллектив под руководством советника РААСН д-ра техн. наук В.В. Строковой представлял свои проекты в рамках Всероссийского молодежного образовательного форума «Селигер».

Проекты молодых ученых – кандидатов техн. наук Н.В. Павленко, Е.В. Фоминой и Т.П. Стрельцовой, а также магистранта Н.И. Кожуховой вошли в сотню лучших по специальным номинациям и были отмечены дипломами Зворыкинского проекта «Инновации и техническое творчество». На форуме «Селигер-2010» А.Б. Бухало в числе трех молодых ученых была удостоена чести представлять разработки молодого коллектива секции Президенту страны Д.А. Медведеву. Президент высоко оценил разработки, отметил перспективность и актуальность идей.

В 2008 г. стартовал Всероссийский молодежный инновационный конвент под патронатом Президента РФ. На протяжении трех лет молодые ученые – победители конкурсов различного уровня имели возможность представлять разработки коллектива первым лицам государства и удостоивались высоких оценок.

14 декабря 2010 г. в Московской школе управления «Сколково» прошел Всероссийский инновационный форум «Россия, вперед!». В рамках форума состоялось заседание Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России, которое проводил Д.А. Медведев. На заседании Комиссии состоялась церемония награждения молодых ученых – авторов революционных идей и проектов. Премии победителям вручал лично Президент России. В специальной номинации «Энергоэффективность и ресурсосбережение» премия им. Владимира Зворыкина была вручена канд. техн. наук А.Б. Бухало.

Впечатляющие успехи молодого активного коллектива позволяют с уверенностью сказать: «Инженер – это звучит гордо». Профессия инженера должна и может быть престижной и уважаемой в стране. Но надо быть активными, уметь использовать современные технологии продвижения своих разработок, создавать молодой, инициативный и азартный коллектив.

\* Вебинар – интерактивные семинары, форма учебных практических занятий, при которой учащиеся обсуждают сообщения, доклады и рефераты, выполненные ими по результатам учебных исследований под руководством преподавателя посредством Интернета.

А.В. АРТАМОНОВА, инженер,  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

## Вязущие вещества на основе шлаков электросталеплавильного производства

В настоящее время в условиях сокращения запасов разведанного природного сырья, роста цен на энергоносители, а также усиливающейся антропогенной нагрузки на окружающую среду особое значение приобретает разработка прогрессивных малоэнергоёмких технологий производства строительных материалов. Наибольший интерес представляют отвалы металлургические шлаки, в том числе подверженные силикатному распаду, которые в силу недостаточной изученности их свойств, наличия металла и неустойчивости структуры не находят широкого применения в строительстве.

Известно [1, 2], что подобные шлаки, несмотря на близкий к поргланцементу химический состав, не обладают вязущими свойствами, так как имеющиеся в его составе фазы  $C_2S$  находятся в закристаллизованном состоянии и при взаимодействии с водой не гидратируют. Без дополнительного повышения гидравлической активности получение из них вязущего невозможно.

При производстве шлаковых вяжущих применимы следующие способы активации: тепловой – пропаривание или автоклавная обработка; химический – введение химических добавок; механический – тонкое измельчение компонентов и повышение дефектности их структуры.

Для активации шлаков применяют измельчители центробежно-ударного действия, в частности измельчительные комплексы КИ, изготавливаемые ЗАО «Урал-Омега», которые позволяют получить частицы изометрической формы, не склонные к агрегации. Измельчающие воздействия при центробежно-ударном помоле приводят не только к интенсивному измельчению шлака, но и к изменению его физико-химического состояния и структуры.

В качестве исходных сырьевых материалов использовали шлаки электросталеплавильного производства (табл. 1): стабилизированный по клинкерной технологии быстрым охлаждением (ШСХ), стабилизированный бором (ШСБ) и самораспадающийся (ШСР).

Шлак ШСР был подвергнут силикатному распаду и представлял собой порошкообразный материал фрак-

ции 0–100 мкм с медианой распределения  $d_{50}=24$  мкм, удельная поверхность  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Помол шлаков ШСХ и ШСБ производили в измельчительном комплексе КИ-0,36 также до фракции 0–100 мкм. По дисперсным характеристикам данные шлаки сопоставимы со шлаком ШСР ( $d_{50}=24–28$ ), удельная поверхность составляла 298 и  $297 \text{ м}^2/\text{кг}$  соответственно.

Минералогический состав определяли методом рентгенофазового анализа. Установлено, что шлак ШСХ характеризуется наличием: бредигит ( $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ); ларнит ( $\alpha\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ); геленит ( $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ ); периклаз ( $\text{MgO}$ ). Шлак, стабилизированный бором (ШСБ), представлен минералами: ( $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), ( $\alpha\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), майенит ( $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ( $\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), ( $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ( $3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ ). Минералогический состав самораспадающегося шлака ШСР представлен в основном минералами  $\gamma\text{-}C_2S$ . Кроме того, в шлаке присутствуют также ( $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ ), ( $\text{MgO}$ ), ( $\beta\text{-}C_2S$ ).

В качестве активаторов использовали растворы сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , известь  $\text{CaO}$  и модифицированное гидроксидом натрия жидкое стекло  $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$  с силикатным модулем  $M_c=2,93$  и плотностью  $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Результаты влияния вида активатора на прочность шлакового камня после тепловлажностной обработки (ТВО) приведены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что шлаки без активатора не обладают гидравлической активностью; шлак ШСБ обладает незначительной гидравлической активностью (0,8 МПа), что характеризует эти шлаки как неактивные. Наиболее эффективное воздействие из всех активаторов оказывает модифицированное гидроксидом натрия жидкое стекло, что, возможно, обусловлено разрушением кристаллов двухвалентного силиката  $C_2S$  ионами кремниевой кислоты, переходом в раствор оксида кальция с последующим его взаимодействием с гелем кремниевой кислоты и образованием нерастворимых гидросиликатов кальция, которые обеспечивают прочность.

Таблица 1

Вид шлака	Массовая доля компонентов, %												$M_o$	$M_a$	$K_k$
	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{F}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SO}_3$	$\text{S}^-$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}$	$\text{CaO}_{\text{св}}$			
ШСХ	25	0,6	44,9	12,9	0,22	0,75	14,3	0,6	0,05	0,02	0,1	0,308	1,47	0,57	2,46
ШСБ	23	0,7	41,4	9,1	0,52	0,65	22,5	0,5	0,02	0,06	0,15	0,53	1,11	0,98	3,1
ШСР	27,9	0	49,3	12,5	0,18	0,49	8,7	0,6	0,03	0	0,06	0,635	1,69	0,31	2,51

Таблица 2

Вид шлака	Прочность при сжатии шлакового камня, МПа, при затворении			
	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\cdot 18\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$
ШСХ	0	1,25	1,11	34,4
ШСБ	0,8	1,36	4,52	51
ШСР	0	0	0,1	29,5

Таблица 3

Вид шлака	Нормальная густота	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности, МПа, в возрасте 28 сут нормального твердения	
		начало	конец	при сжатии	при изгибе
ШСХ	0,35	0-10	0-15	19,9	4,1
ШСБ	0,34	0-5	0-10	31,3	6,14
ШСР	0,51	0-51	1-38	13,4	3,4

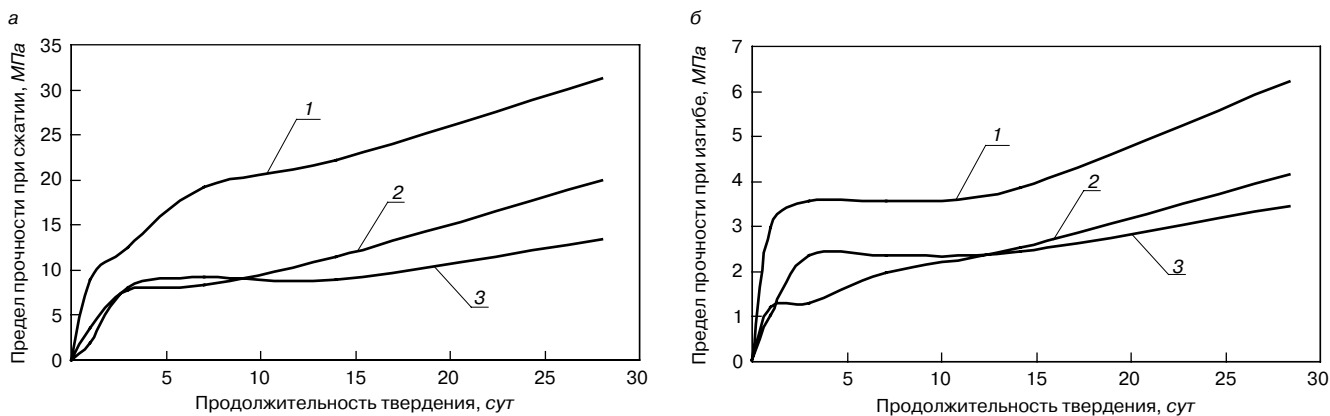


Рис. 1. Кинетика набора прочности шлаковых вяжущих: а – предел прочности при сжатии; б – предел прочности при изгибе: 1 – ШСБ; 2 – ШСХ; 3 – ШСР

Поэтому жидкое стекло является наиболее предпочтительным активатором для шлаков. Свойства шлаковых вяжущих (табл. 3), активированных натриевым жидким стеклом, определяли по стандартным методикам, принятым для портландцемента, в соответствии с ГОСТ 310.1–81\*.

Из данных табл. 3 следует, что при использовании жидкого стекла сроки схватывания вяжущих на шлаках ШСХ и ШСБ слишком малы, что не дает возможности качественно формировать смесь, поэтому необходимо замедлять схватывание.

Увеличения сроков схватывания достигали введением в систему гидроксида натрия, который замедляет химическое взаимодействие ионов кремниевой кислоты с оксидом кальция. Оптимальное содержание NaOH, при котором сроки схватывания удовлетворяют стандарту, по экспериментальным данным, составило 6%.

Минеральный состав шлакового камня, по данным термического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии, представлен:  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Кинетика набора прочности шлаковых вяжущих приведена на рис. 1.

Следует отметить, что шлак, стабилизированный бором, имеет более высокие прочностные характери-

стики по сравнению со шлаком, стабилизированным быстрым охлаждением. Это объясняется тем, что шлак ШСБ содержит в своем составе майенит ( $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ), который быстро взаимодействует с водой. Кроме того, при внедрении в решетку  $\text{C}_2\text{S}$  ионов бора изменяется его структура, повышается степень разупорядоченности кристаллов двухкальциевого силиката, что способствует увеличению его гидравлической активности.

Влияние условий твердения на прочность шлаковых вяжущих приведено на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что при ТВО происходит значительное снижение прочности шлаковых вяжущих как на шлаке ШСХ, так и на шлаке ШСБ. Это может быть связано с тем, что при ТВО происходит перекристаллизация образовавшихся при гидратации гексагональных гидроалюминатов кальция с образованием наиболее устойчивых кристаллов кубической формы, которая вызывает напряжения в структуре шлакового камня и приводит к снижению прочности [3]. ТВО для данных шлаков проводить нежелательно.

Вязущее на основе шлака ШСР подвергали автоклавной обработке, которую проводили по режиму: подъем давления – 1,5 ч; выдержка при давлении пара 0,8 МПа – 6 ч; сброс пара – 1 ч. На рис. 3 представлены результаты испытаний полученных образцов вяжущего.

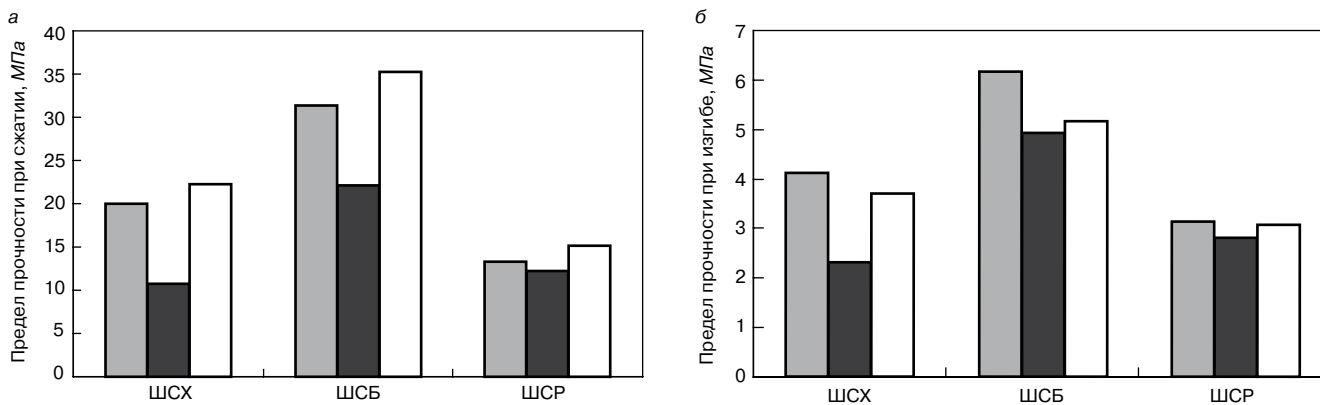


Рис. 2. Влияние условий твердения на прочность шлаковых вяжущих: а – при сжатии; б – при изгибе: ■ – нормальные условия; ■ – ТВО; □ – ТВО+27

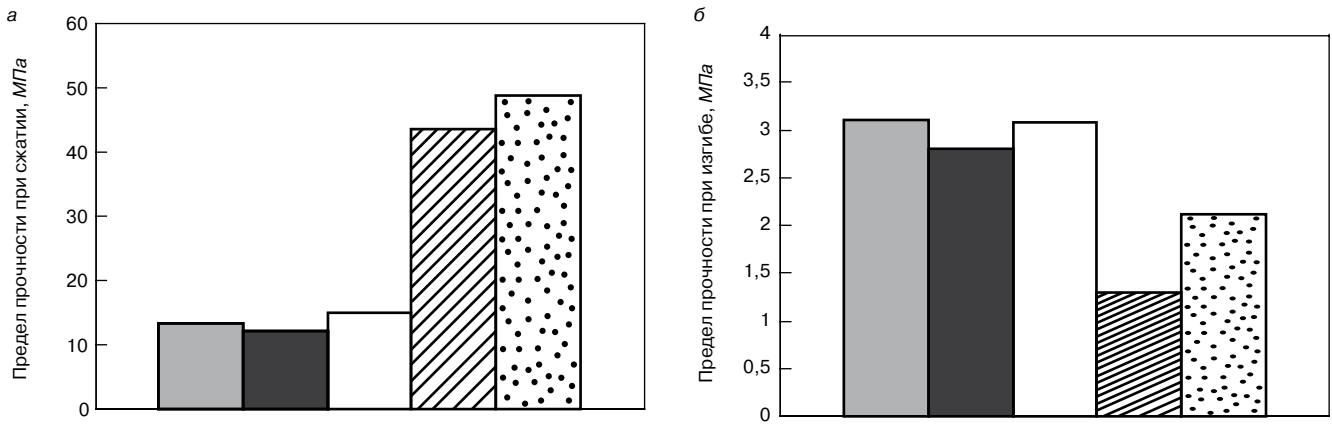


Рис. 3. Влияние условий твердения на прочность шлакового вяжущего: а – предел прочности при сжатии; б – предел прочности при изгибе: ■ – нормальные условия; ■ – TBO; □ – TBO+27; ▨ – автоклав; ▩ – автоклав+27

Из рис. 3 видно, что наиболее благоприятным условием твердения для вяжущего на основе самораспадающегося шлака является автоклавная обработка.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что для всех видов шлаков наиболее эффективной является щелочная активация растворимым натриевым стеклом. Разработано вяжущее марок 200 и 300 для шлаков ШСХ и ШСБ соответственно. Активность вяжущего на основе шлака ШСР составила 13 МПа. Заметное повышение прочностных свойств такого вяжущего дает автоклавная обработка, поэтому его можно рекомендовать для производства бетонов автоклавного твердения.

Результаты исследований показывают, что полученные вяжущие на основе электросталеплавильных шлаков перспективны для использования в бетонах.

**Ключевые слова:** электросталеплавильные шлаки, гидравлическая активность, вяжущее, двухкальциевый силикат, жидкое стекло.

Список литературы

1. Горшков В.С., Александров С.Е., Иващенко С.И., Горшкова И.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве. М.: Стройиздат, 1985. 272 с.
2. Горшков В.С. Гидратационные свойства анортита и псевдоволастонита // Журнал прикладной химии. 1966. Т. 39. № 2. С. 448–451.
3. Рояк С.М., Рояк Г.С. Специальные цементы. М.: Стройиздат, 1983. 279 с.

**Активатор**  
измельчение активация синтез

**Лабораторные мельницы “Активатор”  
для заводских и исследовательских лабораторий.**

**Активатор-2SL**

Для пробподготовки материалов

**Активатор-4M**

Для наработки небольших партий материалов

**Активатор-2S**

Для помола материалов в ударном, сдвиговом, вихревом режимах

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

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

Реклама

С.М. ПУЛЯЕВ, канд. техн. наук, Московский государственный строительный университет;  
 А.Р. СОЛОВЬЯНЧИК, д-р техн. наук, И.С. ПУЛЯЕВ, канд. техн. наук,  
 Научно-исследовательский институт транспортного строительства (ОАО ЦНИИС)

## Исследование влияния добавки ViskoCrete 5 Neu на тепловыделение бетона

В последнее время при подборе составов бетонов и строительных растворов все чаще находят применение современные добавки на основе поликарбоксилатов.

Одной из таких добавок является ViskoCrete 5 Neu компании Sika. Данная добавка позволяет уменьшить расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона, оказывает влияние на темп роста прочности бетона и отличается чрезвычайно сильным водопонижением и выраженной подвижностью при оптимальной когезии. Представленный образец является суперпластификатором на основе водных растворов модифицированных поликарбоксилатов с плотностью 1,084 кг/л и значением рН=4,5±1, отвечающим требованиям к водоредуцирующим добавкам и суперпластификаторам EN934-2, а также требованиям ТУ 2493-002-13613997-2007.

Основным преимуществом добавок данного класса является возможность их применения при возведении крупноразмерных промышленных и гражданских сооружений, железобетонных элементов высокой прочности. Зачастую для указанных конструкций необходи-

мым условием контрактов с фирмами-заказчиками являются ускоренные темпы их возведения при неизменно высоком качестве работ. В этом случае особую актуальность приобретает вопрос определения влияния различных компонентов бетонной смеси на ее основные свойства, и в первую очередь на тепловыделение в процессе гидратации цемента, напрямую влияющее на сроки выдерживания конструкций в опалубке.

Поскольку данных о влиянии рассматриваемой добавки на тепловыделение бетона в процессе твердения в технической литературе не имеется, потребовалось провести ряд специальных исследований, направленных на изучение свойств бетонной смеси с данной добавкой.

Для учета влияния рассматриваемого суперпластификатора на тепловыделение бетона на заводе концерна

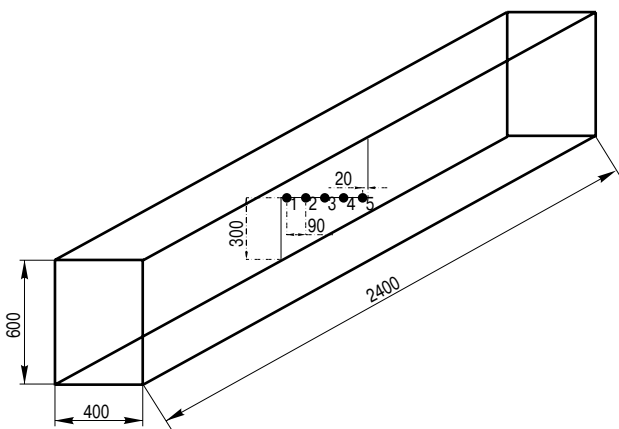


Рис. 1. Схема расположения точек замера температуры в твердеющем бетоне фундаментного блока

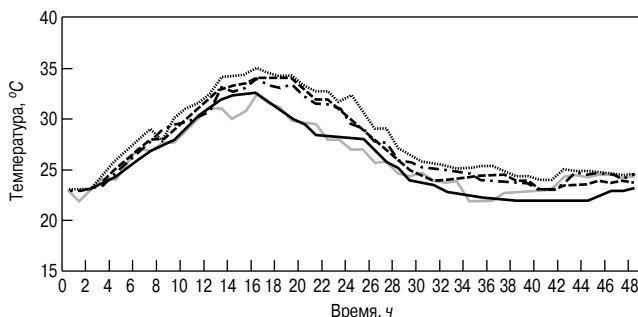


Рис. 2. График изменения температуры твердеющего бетона при экспериментальном исследовании: — термомпара 1; - - - - термомпара 2; ..... термомпара 3; - · - · термомпара 4; — термомпара 5

400									
40	25	45	45	90		45	45	25	40
1	2	3	4	5		6	7	8	9
10	11	12	13	14		15	16	17	18
19	20	21	22	23		24	25	26	27
28	29	30	31	32		33	34	35	36
37	38	39	40	41		42	43	44	45
46	47	48	49	50		51	52	53	54
55	56	57	58	59		60	61	62	63
64	65	66	67	68		69	70	71	72
73	74	75	76	77		78	79	80	81
82	83	84	85	86		87	88	89	90
91	92	93	94	95		96	97	98	99

Рис. 3. Схема разбивки сечения фундаментного блока на блоки бетонирования

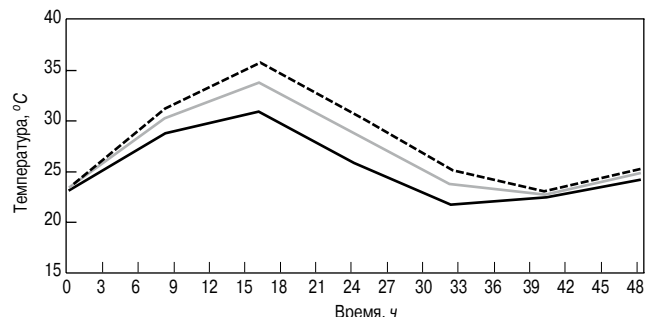


Рис. 4. Расчетный график изменения температуры твердеющего бетона при начальной  $t_{б.с.} = 23^{\circ}\text{C}$ : - - - - блок 50; — блок 48, 52; — блок 46, 54. По данным эксперимента показания блока 46 совпало с блоком 54, а блока 48 – с блоком 52



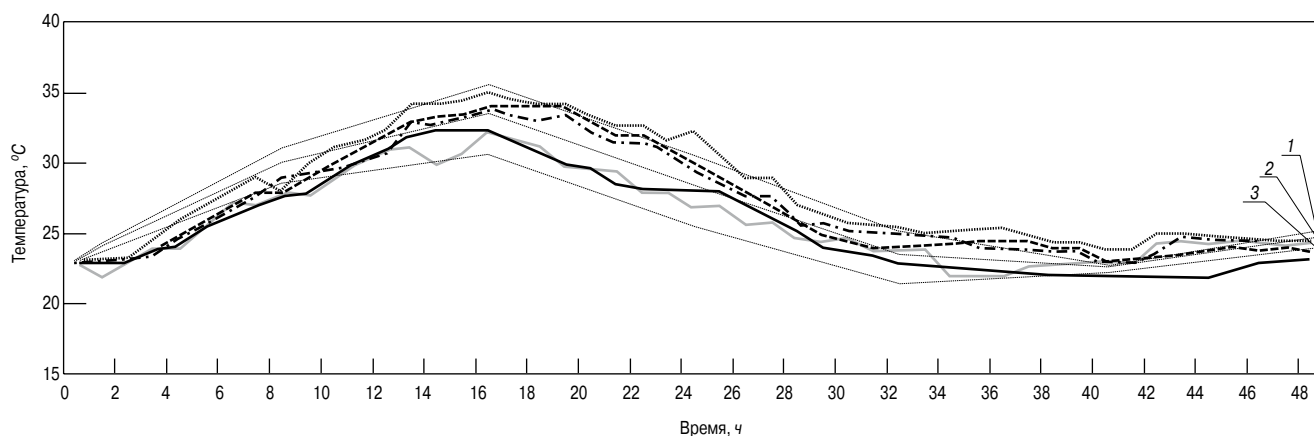


Рис. 5. График сопоставления экспериментальных и расчетных данных об изменении температуры твердеющего бетона фундаментного блока: — — — — — термопара 1; - - - - - термопара 2; ..... термопара 3; - · - · - термопара 4; — — — — — термопара 5; 1 – блок 46–54; 2 – блок 48–52; 3 – блок 50

«КРОСТ» (г. Сходня, Московская обл.) был изготовлен стандартный фундаментный блок с размерами 40×60×240 см с использованием вышеуказанной добавки. Основные характеристики применяемой бетонной смеси были следующие:

- класс бетона В30;
- подвижность бетонной смеси П4;
- расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона – 440 кг;
- расход вводимой добавки для высокоподвижной бетонной смеси – 0,6% от массы цемента.

При проведении эксперимента в блоке были установлены контрольные точки, в которых производились замеры температуры твердеющего бетона. Информация о полученных значениях передавалась на многоканальный регистратор тепловых процессов «ТЕРЕМ-3» с помощью термопарных проводов.

Схема расположения точек замера температуры представлена на рис. 1.

На схеме фундаментного блока видно, что считывание температуры проводилось в пяти основных точках посредине высоты фундаментного блока на расстоянии 300 мм от основания конструкции: по краям образца с отступлением от внутренней поверхности опалубки на расстояние 20 мм; произвольно в бетонном массиве конструкции на расстоянии 110 мм от края и непосредственно в центре блока, где разогрев бетона представляется наиболее существенным.

Замеры температуры производились в течение 4 сут с интервалом в 1 ч. Кроме того, в течение всего времени проведения испытания фиксировалась температура наружного воздуха в помещении, где был установлен фундаментный блок. Поскольку в среднем максимальный разогрев бетона в таких маломассивных конструкциях приходится на 2–3 сут от начала выдерживания бетона, времени проведения испытания оказалось достаточно для получения требуемых данных и построения экспериментального графика изменения температуры твердеющего бетона, который представлен на рис. 2.

Параллельно с данным экспериментом методом решения обратной задачи, многократно апробированным на практике, был проведен расчет температурного режима твердеющего бетона на персональном компьютере с помощью специальной программы ЗА, разработанной в ОАО ЦНИИС. В основу данного программного комплекса заложена система уравнений балансов тепловой энергии, с помощью которых можно решать задачи в нескольких постановках с учетом внутреннего источника тепла. В этой программе исследуемая область разбивается на элементарные блоки, и в дальнейшем рассматривается их тепловое взаимодействие между собой и окружающей средой.

Для этого сечение конструкции фундаментного блока, схема которого представлена на рис. 3, было разбито на элементарные расчетные блоки бетонирования. При этом разбивка производилась таким образом, чтобы фактическое расположение экспериментальных точек замера температуры соответствовало центру расчетного элементарного блока.

Необходимые данные для проведения расчетов, а именно размер сечения конструкции, расход цемента, температура укладки бетонной смеси и окружающей среды задавались дифференцированно в соответствии с фактически установленными результатами. При этом расположение элементарных блоков №№ 46, 48, 50, 52, 54 соответствовало расположению точек замера температуры Т1, Т2, Т3, Т4, Т5. Основываясь на полученных в ходе расчета данных, был построен график изменения температуры твердеющего бетона, представленный на рис. 4.

Полученная зависимость была сопоставлена с результатами проведенного эксперимента, и анализ полученных графиков, представленных на рис. 5, показал, что при наложении контрольных точек замеров температуры, полученных при проведении эксперимента, и точек, установленных расчетных путем, их взаимное расположение в большинстве случаев совпало либо отклонилось друг от друга на величину не более 1–2°C, что объясняется рядом небольших естественных погрешностей, не влияющих на общий результат проведенного испытания. Расчетное значение температуры разогрева полностью совпало с экспериментальным и составило 35–36°C, а значения показателей изменений температуры твердеющего бетона во время его разогрева и остывания оказались близкими друг к другу, и в общем случае погрешность не превысила 4–6%, что является достаточно небольшим отклонением при задании расчетных характеристик твердеющего бетона.

Таким образом, данные эксперимента, с одной стороны, показали достаточно высокую сходимость результатов натурального эксперимента с расчетными значениями, а с другой – позволили установить, что применение вышеуказанной добавки в целом не влияет на изменение тепловыделения твердеющего бетона и его величина пропорциональна расходу цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона, что необходимо учитывать при использовании данной добавки в процессе строительства различных массивных сооружений.

**Ключевые слова:** тепловыделение, твердеющий бетон, добавка, обратная задача.

В.С. СЕМЕНОВ, ассистент кафедры строительных материалов,  
Московский государственный строительный университет

## Противоморозные добавки для облегченных цементных систем

Современный подход к проектированию составов бетонов и строительных растворов определяет необходимость использования модификаторов различного функционального назначения, в частности противоморозных добавок. Облегченные цементные тампонажные растворы с полыми стеклянными микросферами доказали свою эффективность с технико-технологической стороны. Кладочные и штукатурные растворы с микросферами широкого распространения пока не получили. Однако данное научное направление продолжает развиваться, что связано в первую очередь с появлением новых технологий производства микросфер, позволяющих существенно снизить их стоимость и ликвидировать монополизм их производства. Существует также необходимость повышения энергоэффективности и экологической безопасности зданий, что поддерживается соответствующей государственной политикой.

На всей территории России строительство ведется и в зимнее время. Известно, что оптимальной температурой твердения цементных систем как в гражданском, так и в специальном строительстве считается диапазон от 15 до 20°C [1]. При низких температурах гидратация цемента замедляется. Проблема интенсификации процессов гидратации и твердения цементных материалов решается по-разному [11]. Одним из вариантов является введение в состав растворов противоморозных добавок, как правило, хлорида кальция. Это существенно понижает pH среды и вызывает коррозию стальных элементов в бетоне. Другим вариантом является тепловой метод интенсификации твердения цемента, негативной стороной которого при тампонировании скважин является растепление многолетних мерзлых пород – ММП, что приводит к разрушению конструкции скважины. Третьим вариантом решения данной проблемы является применение специальных тампонажных составов: имеются в виду различные гипсоцементные смеси, представляющие собой смесь  $\alpha$ -полугидрата гипса (50–60 мас. %), портландцемента класса «G» (40–50 мас. %) (или часть его заменяется глиноземистым цементом), хлорида натрия, замедлителя схватывания CFR-2 или НТФ, цитрата натрия и пластификатора. Главным недостатком гипсоцементных смесей является низкая водостойкость гипсовой матрицы. Это приводит к значительному снижению прочности в возрасте одного года и является причиной нарушения контакта с горной породой. По данным производителей, ориентировочный срок службы гипсоцементной изоляции составляет в среднем три года, что ничтожно мало для конструкции нефтегазовой скважины, срок эксплуатации которой достигает 30–50 лет.

Всю существующую на данный момент номенклатуру противоморозных добавок исходя из принципа их действия можно разделить на три класса: добавки, снижающие температуру замерзания жидкой фазы раствора (бетона) и принадлежащие к числу слабых электролитов либо замедлителей схватывания и твердения цемента, например нитрит натрия, хлорид натрия, водные рас-

творы аммиака, добавки органического происхождения; добавки, совмещающие в себе способность к сильному ускорению процессов схватывания и твердения цемента с хорошими антифризными свойствами (поташ, добавки на основе хлорида кальция); вещества со слабыми антифризными свойствами, но относящиеся к сильным ускорителям схватывания и твердения цемента, одновременно вызывающие большое тепловыделение на ранней стадии твердения бетонной или растворной смеси, например  $Fe_2(SO_4)_3$  и  $Al_2(SO_4)_3$ .

Номенклатура традиционных противоморозных добавок не отличается значительным разнообразием [2]: поташ, нитрит натрия, нитрат кальция с мочевиной, нитрит-нитрат кальция (ННК) с мочевиной, соединенные нитрата кальция с мочевиной (НКМ), хлорид кальция с хлоридом натрия, хлорид кальция с нитритом натрия, нитрит-нитрат хлорида кальция (ННХК) и нитрит-нитрат хлорида кальция с мочевиной, формиат натрия. Массовое применение данных добавок основывалось на доскональном изучении их влияния на свойства цементных систем.

Как известно, существует и ряд негативных сторон применения подобных модификаторов. Хлористые соли вызывают коррозию стальной арматуры железобетонных конструкций, а также появление высолов на стенах. А их использование в тампонажных растворах приводит к коррозии стальных обсадных труб и муфт. Согласно действующим нормативным документам [9] (п. 5.20) применение хлористых солей в строительных растворах для кладки стен жилых и общественных зданий запрещено. Добавка поташа может значительно ускорять сроки схватывания цемента, т. е. интенсифицировать потерю подвижности растворной смеси. Это совершенно неприемлемо для тампонажных материалов. Нитрит натрия является ингибитором коррозии и солью азотистой кислоты, все соли которой ядовиты. Такой раствор можно подавать только по трубопроводам. Необходимо также учитывать, что нитрит натрия является окислителем и, например, при его совместном использовании с ЛСТ, суперпластификатором С-3 и добавкой СДБ, могут выделяться ядовитые газы – окислы азота NO и NO<sub>2</sub>.

Как отмечает С.А. Подмазова [4], Федеральный институт промышленной собственности фиксирует, что добавки под различными коммерческими названиями содержат практически одинаковые составляющие как по наименованию, так и по количественному соотношению.

Подавляющее большинство современных модификаторов для бетонов и строительных растворов обладает полифункциональностью, т. е. одновременно воздействует на ряд химических и физических процессов, протекающих на стадии формирования структуры цементного материала. В настоящее время отечественные и зарубежные производители (Бенотех, Mapei, Yara Norge, Sika, MC-Bauchemie, Полипласт, Биотех, ТКК, Index и др.) предлагают широкий спектр комплексных противоморозных добавок (см. табл. 1).

Таблица 1

Современные противоморозные добавки

Наименование добавок (производитель)	Описание	Дозировка добавок в расчете на сухое вещество, % от массы цемента, в зависимости от расчетной температуры бетона				
		до -5	-5 -- -10	-10 -- -15	-15 -- -20	-20 -- -25
Бенотех ПМП-1 (Бенотех, Россия)	Комплексная добавка на основе хлорида кальция, нитрита натрия и лигносульфоната	1	2	3	4	5
Sika Antifreeze P10 (Sika, Швейцария)	Комплексная добавка на основе композиций солей щелочных металлов и модифицированных поликарбоксилатов	1-3	3-5	5-8	—	—
Sika Antifreeze №18 (Sika, Швейцария)	Комплексная добавка на основе композиций солей щелочных металлов и модифицированных нафталин-сульфонатов	1-3	3-5	5-8	—	—
Sika Antifreeze 15 (Sika, Швейцария)	Противоморозная добавка на основе композиций солей щелочных металлов	1-3	3-5	5-8	—	—
Antigelo Liquid (Mapei, Италия)	Жидкий антифриз для бетонов и цементных растворов	1	1-2	—	—	—
Antigelo S Liquid (Mapei, Италия)	Комплексная противоморозная добавка с водоредуцирующим эффектом 7-9%	1	1-2	—	—	—
MC Rapid 015 (MC-Bauchemie, Германия)	Комплексная пластифицирующая ускоряющая добавка с противоморозным эффектом (водоредуцирующий эффект до 25%)	1,5	1,5-3	3-4,5	4,5-6	6-7,5
MC Rapid 025 (MC-Bauchemie, Германия)	Противоморозная добавка для бетона и раствора	0,5	0,5-1,5	1,5-2,5	2,5-3,5	3,5-4,5
MC Rapid 115 (MC-Bauchemie, Германия)	Комплексная добавка для товарного бетона пластифицирующая ускоряющая с противоморозным эффектом	0,5	0,5-2	—	—	—
Nitcal (Yara Norge, Норвегия)	Противоморозная добавка-ускоритель на основе нитрата кальция	0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	—
Криопласт СП15-1 (Полипласт, Россия)	Смесь натриевых солей полиметиленафталинсульфонокислот с добавлением противоморозного комплекса на основе формиата натрия	1,5	1,5-2,5	2,5-3,5	—	—
Криопласт СП15-2 (Полипласт, Россия)	Смесь натриевых солей полиметиленафталинсульфонокислот с добавлением противоморозного комплекса на основе смеси роданида и тиосульфата натрия	1	1-1,5	1,5-2	—	—
Криопласт П20 (Полипласт, Россия)	Противоморозный комплекс на основе нитрит-нитрата кальция	1	1-1,5	3-3,5	4-4,5	—
Криопласт П25-1 (Полипласт, Россия)	Смесь поверхностно-активных натриевых солей лигниновой и метилениснафталинсульфонокислот и противоморозного компонента – смеси органических и неорганических солей натрия и калия.	1	1,5-2	2,5-3	3,5-4,5	5-6
Лигнопан Б-4 (Биотех, Россия)	Комплексная противоморозная добавка с ускоряющим и водоредуцирующим эффектом	4	4-6	6-7	7-8	—
Gygaplast ZSP (Гигапласт, Россия)	Поверхностно-активная комбинированная добавка в бетон, совмещающая в себе свойства суперпластификатора и противоморозной присадки	3	3-4,2	4,2-4,8	4,8-6,5	—
Gygaplast Z (Гигапласт, Россия)	Комбинированная противоморозная добавка-ускоритель с пластифицирующим эффектом	3	3-4,2	4,2-4,8	4,8-6,5	—
Гидрозим-Т (Россия)	Жидкий антифриз	1	1,5	2	—	—
Betonsan (Index, Италия)	Бессолевая сухая противоморозная добавка для бетонов и строительных растворов	1	1...2	—	—	—

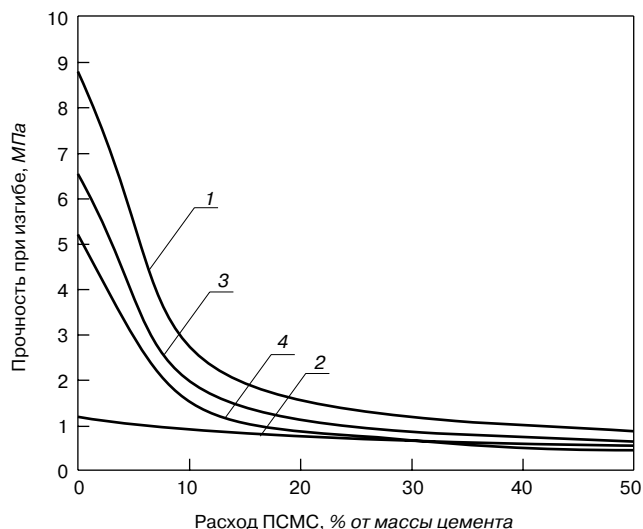


Рис. 1. Прочность тампонажного камня с полыми стеклянными микро-сферами при изгибе: 1 – T = +20°C; 2 – T = -5°C; 3 – T = +20°C с добав- кой; 4 – T = -5°C с добавкой

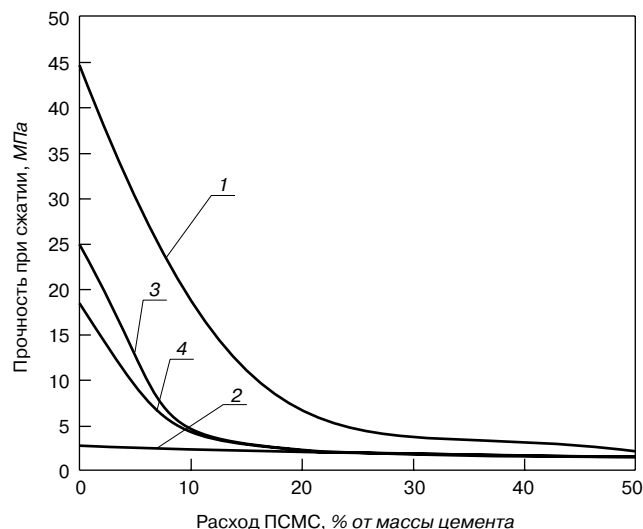


Рис. 2. Прочность тампонажного камня с полыми стеклянными микро-сферами при сжатии: 1 – T = +20°C; 2 – T = -5°C; 3 – T = +20°C с добав- кой; 4 – T = -5°C с добавкой

Анализ состава приведенных модификаторов позво- ляет утверждать, что все добавки, рекомендуемые про- изводителем для использования при пониженных тем- пературах, не содержат в себе никаких принципиально новых «противоморозных» компонентов.

Существует ряд негативных факторов применения комплексных добавок на основе пластификаторов и электролитов. При повышенном содержании пласти- фицирующие компоненты значительно замедляют про- цессы гидратации цементных систем на морозе [6].

Электролиты, присутствующие в небольшом количе- стве в составе комплексной добавки в качестве противоморозного компонента, не обеспечивают интенсивного набора прочности раствора. Раствор при этом может быть подвергнут преждевременному замораживанию, что нега- тивно скажется на наборе прочности в дальнейшем и на его физико-механических и эксплуатационных свойствах.

В последнее время на рынке появились комплекс- ные противоморозные модификаторы, содержащие в качестве пластифицирующего компонента добавки на основе модифицированных поликарбоксилатов (гипер- пластификаторов). Однако механизм действия гипер- пластификаторов недостаточно изучен. Как отмечает А.И. Вовк в статье [8], подобные пластифицирующие

добавки очень чувствительны к минеральному составу цемента. Поэтому довольно трудно предположить, ка- ким окажется пластифицирующий эффект такой добав- ки для конкретного цемента и достаточно ли содержит- ся в ее составе противоморозного компонента для пре- дотвращения преждевременного замораживания систе- мы. Большинство комплексных добавок являются мно- гоконпонентными, содержащими еще и ускорители или замедлители схватывания, поэтому процесс стано- вится еще более сложным.

Видимо, наиболее целесообразным представляется раздельное применение водоредуцирующих, противоморозных добавок и ускорителей в зависимости от тем- пературных условий твердения, достижения требуемой подвижности и сохраняемости смесей, заданного темпа набора раствором прочности. Имеющаяся рекламная информация о ряде добавок способна ввести в заблуж- дение пользователей. По мнению авторов публика- ции [5], достижение четкого технологического эффекта от применения комплексных противоморозных добавок и получение высокотехнологичных бетонных и рас- творных смесей возможны только в случае детального анализа механизмов действия компонентов и проведе- ния предварительных лабораторных исследований.

Таблица 2

Свойства облегченного тампонажного раствора, сформированного при разных температурах

Составы, мас. %	В/Ц	Растекаемость, см	$\rho_{p-ра}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{сух}$ , кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	
					$R_{изг}$	$R_{сж}$
Образцы, сформированные при температуре 20°C						
100 ПЦТ+(С-3)	0,28	20	2130	1790	8,9	45
100 ПЦТ+10 ПСМС+(С-3)	0,56	20	1230	860	2,7	18,5
100 ПЦТ+30 ПСМС+(С-3)	1,13	19,5	860	580	1,2	2,5
100 ПЦТ+50 ПСМС+(С-3)	1,8	21	730	460	0,8	1,6
Образцы, сформированные при температуре -5°C с добавкой нитрата натрия						
100 ПЦТ+(С-3) +NaNO <sub>3</sub>	0,28	20	2130	1790	5,2	18,5
100 ПЦТ+10 ПСМС+(С-3) +NaNO <sub>3</sub>	0,56	20	1230	860	1,52	3,8
100 ПЦТ+30 ПСМС+(С-3) +NaNO <sub>3</sub>	1,13	19,5	860	580	0,7	1,15
100 ПЦТ+50 ПСМС+(С-3) +NaNO <sub>3</sub>	1,8	21	730	460	0,4	0,75

Проведенный аналитический обзор позволяет предположить, что для облегченных тампонажных и строительных растворов в качестве противоморозного компонента наиболее целесообразно применять нитрат натрия. Были проведены исследования прочности тампонажного камня с различным содержанием полых микросфер в возрасте двух суток. Исследования проводились в соответствии с ГОСТ [10]. Использовался тампонажный портландцемент ПЦТ 1–50 Топкинского завода, полые стеклянные микросферы МС–В производства ОАО «НПО Стеклопластик» с истинной плотностью 220 кг/м<sup>3</sup>, суперпластификатор С–3 (в количестве 0,8% от массы цемента), нитрат натрия (в количестве 5% от массы цемента). Расход микросфер принимался 10%, 30% и 50% от массы цемента с целью получения раствора минимальной плотности. Расход нитрата натрия принят исходя из общеизвестных рекомендаций. Растекаемость раствора по конусу КР–1 была 20–22 см. Прочность определялась на образцах-призмах с размерами 4×4×16 см в возрасте двух суток. Поскольку тампонажный раствор обладает значительной подвижностью, образцы согласно [10] формируются без уплотнения. Контрольные образцы выдерживались в течение первых суток в формах в камере нормального твердения, вторые сутки – в воде при температуре 20°C. Образцы помещались в климатическую камеру сразу после формирования. Замораживание образцов проводилось при температуре –5°C, наиболее характерной для условий многолетних мерзлых пород. Образцы, подвергнутые замораживанию, перед испытанием оттаивали в воде в течение двух часов. Физико-механические свойства растворов представлены в табл. 2 и на рис. 1, 2.

Как видно из табл. 1, используя микросферы в качестве наполнителя, можно получить тампонажный раствор с плотностью 730 кг/м<sup>3</sup>. При этом тампонажный камень с 30% микросфер, сформированный при стандартных условиях, полностью удовлетворяет нормативным требованиям: прочность камня на изгиб в возрасте двух суток должна быть не менее 1 МПа. Из представленного материала видно, что добавка нитрата натрия оказывает значительное замедляющее воздействие на кинетику набора прочности цементных систем (даже при стандартных условиях – см. рис. 1, 2) и для тампонажных растворов с полыми стеклянными микросферами при их расходе более 15% от массы цемента применяться не может, поскольку в данном случае не выполняются нормативные требования к прочности тампонажного камня. Однако для кладочных растворов с микросферами такая добавка вполне применима. В принципе снижение прочности в процентном отношении одинаково для всех составов. Таким образом, очевидно, что для облегченных растворов с полыми стеклянными микросферами с учетом требований к универсальности и безопасности их применения необходим дальнейший поиск комплексов модификаторов, например противоморозных и добавок-ускорителей, для достижения необходимых прочностных и технологических показателей таких растворов, твердеющих в условиях низких положительных и малых отрицательных температур.

**Ключевые слова:** противоморозные добавки, облегченные цементные растворы, полые стеклянные микросферы.

#### Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд. АСВ, 2007. 528 с.
2. ГОСТ 24211–2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия,

введ. 2004–03–01. М.: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС), 2003.

3. ГОСТ 30459–2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности; М.: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС), 2003.
4. Подмазова С.А. О применении химических добавок в бетоне // Бетон и железобетон. 2007. № 4. С. 26–28.
5. Войтович В.А. Повышение эффективности технологии зимнего бетонирования с применением противоморозных добавок // Строит. материалы. 2009. № 12. С. 14–15.
6. Тараканов О.В. Комплексные добавки в производстве цементных растворов и бетонов // Технологии бетонов. 2008. № 11. С. 8–10.
7. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. 221 с.
8. Вовк А.И. О некоторых особенностях применения гиперпластификаторов. Часть 2 // Технологии бетонов. 2007. № 6. С. 12–13.
9. СП 82-101–98. Приготовление и применение растворов строительных; М.: Госстрой России. 1998.
10. ГОСТ 26798.1–96. Цементы тампонажные. Методы испытаний; введ. 1998–10–01. М.: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС), 1998.
11. Кривобородов Ю.Р. Тампонажные цементы для низкотемпературных скважин. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2002. 125 с.



**ООО «ГС-Эксперт»**

◆ Специализируется на проведении маркетинговых исследований и мониторинге рынков в области строительных материалов и минерального сырья в России и ряде стран СНГ.

◆ Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой продукции, включая анализ данных о ее производстве и потреблении, экспортно-импортных поставках, сырьевой базе, состоянии ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.

◆ Выполнены работы по:

- минеральному сырью: гипсовому камню, полевому шпату, различным видам глин, стекольным и формовочным пескам, карбонатным породам (доломиту, мелу, известняку) кварцу, бентониту, волластониту, диатомиту и др.
- строительным материалам: цементу, извести, гипсу, листовому стеклу, щебню, гравии, теплоизоляционным и кровельным материалам, архитектурному профилю из алюминиевых сплавов и ПВХ, кирпичу, ячеистому бетону и др.

◆ Предлагаем готовые аналитические обзоры рынков, проведение исследований по вашим индивидуальным заказам, а также услуги по мониторингу цен и объемов поставок продукции (внутренние поставки и анализ ВЭД) на ежемесячной или ежеквартальной основе.

**125047, Москва, 1-й Тверской-Ямской пер., д. 18, оф. 230**

**Тел: (495) 250-48-74, (916) 507-83-77**

**Факс: (495) 250-48-74**

**www.gs-expert.ru**

**E-mail: info@gs-expert.ru**



В.С. ИЗОТОВ, д-р техн. наук, Р.Х. МУХАМЕТРАХИМОВ, инженер (rustemmail@yandex.ru), Л.С. САБИТОВ, канд. техн. наук, Казанский государственный архитектурно-строительный университет

## Цементно-волоконистый композиционный материал для фиброцементных плит

Для отделки фасадов вновь возводимых, а также при утеплении реконструируемых зданий большое применение находят навесные вентилируемые фасадные системы.

В настоящее время в качестве защитно-декоративного экрана используются различные материалы, однако остаются весьма актуальными вопросы получения новых материалов, сочетающих высокие декоративные и эксплуатационные качества, отличающихся экологичностью и низкой себестоимостью. Особое внимание в этом отношении привлекают фиброцементные плиты.

Фиброцементные плиты заслуженно востребованы архитекторами, проектировщиками и строителями. Ими отделаны корпуса жилых, офисных зданий, учебных заведений, банков, станций метро и вокзалов, тоннели, мосты, эстакады [1].

Эти плиты представляют собой искусственный композиционный каменный строительный материал, получаемый в результате затвердевания смеси, состоящей из цемента, волокон ( $\approx 5\text{--}20\%$  от массы цемента) и воды. Наиболее распространенным видом фиброцемента являются асбестоцементные изделия. Они имеют невысокую стоимость и конкурируют с другими кровельными и фасадными материалами.

При разработке новых цементно-волоконистых композиционных материалов необходимо использовать экологически чистое сырье невысокой стоимости с требуемыми техническими свойствами.

Наиболее значительный эффект может быть достигнут при внедрении новых безасбестовых цементно-волоконистых материалов на действующих традиционных технологических линиях по производству асбестоцементных листов с максимальным использованием имеющегося оборудования. Имеются исследования фиброце-

ментных материалов на основе щелочестойких стеклянных (марки Ш-15ЖТ) и базальтовых волокон [2], согласно которым полное исключение асбеста из композиции и замена его только стеклянным или базальтовым волокном применительно к существующим круглосечным машинам практически невозможно. Объясняется это главным образом низкой цементоудерживающей способностью рассматриваемых волокон.

Наиболее предпочтительным видом волокон, позволяющим достичь высокий технический результат, являются целлюлозные. Хорошие показатели получены при создании НИИпроектасбестцемент цементно-волоконистых изделий с частичной (до 50%) заменой асбеста целлюлозными волокнами [3]. Волоконистым материалом служила целлюлоза: сульфатная небеленая марки НС-2 и сульфитная беленая. Листы на основе целлюлозного волокна прошли 10-летний срок испытаний в эксплуатации. Прочностные и эстетические свойства листов не ухудшились. Заводское производство фиброцементных плит на основе целлюлозного волокна налажено в Республике Мордовия ОАО «ЛАТО». Изделия полностью удовлетворяют эксплуатационным требованиям [4].

Согласно классификации дисперсно-армированных бетонов [5] армирующие волокна предложено разделять на два типа: низко модульные и высоко модульные, которые в свою очередь подразделяются на металлические, минеральные и органические. Технические характеристики некоторых из них представлены в таблице.

Целлюлозные волокна можно отнести к высоко модульным, органическим, поскольку относительное удлинение при разрыве составляет 0,5–4%, прочность на растяжение 300–500 МПа, средний диаметр волокон

Вид волокна	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа	Удлинение при разрыве, %
Полипропиленовое	0,9	400–770	3500–8000	10–25
Полиэтиленовое	0,95	700	1400–4200	10
Нейлоновое	1,1	770–840	4200	16–20
Акриловое	1,1	210–420	2100	25–45
Полиэфирное	1,4	730–780	8400	11–13
Асбестовое	2,6	910–3100	68000	0,6
Целлюлозное	1,2	300–500	10000	0,5–4
Стеклоанное	2,6	1050–3850	70000–80000	1,5–3,5
Стальные фибры	7,8	800–3150	200000	3–4
Углеродное	2	2000	245000	1
Карбоновое	1,63	7800	380000	2,1
Полиамидное	0,9	720	1900	24
Вискозное	1,2	660	5600	14
Базальтовое	2,6	1600–3600	80000–110000	1,4–3,6
Волластонит	2,9	200–400	10000	0,2–0,5
Кевларовое	1,45	3600	150000	2,1–4
Полиакрилонитрил	1,2	900	20000	10

10–35 мкм, длина 200–1000 мкм и более. Такие характеристики целлюлозного волокна обеспечивают высокую ударную вязкость и предел прочности при изгибе композиционного материала.

Целлюлозное волокно обладает следующими положительными свойствами: легкой распушаемостью, достаточной механической прочностью и гибкостью, не является канцерогенным. Высокая адсорбционная способность позволяет ему осажать и прочно удерживать на своей поверхности зерна цемента. Армирующая способность определяет высокую механическую прочность на изгиб и растяжение затвердевшего материала. К прочим плюсам материала относится высокая щелочестойкость.

В данной работе представлены результаты разработки цементно-волоконного композиционного материала на основе целлюлозных волокон для изготовления прессованных фиброцементных плит автоклавного твердения, которые в зависимости от функционального назначения могут быть использованы для облицовки наружных стен зданий, изготовления подвесных потолков, сэндвич-панелей, межкомнатных перегородок, подоконных плит, в качестве съемной и несъемной опалубки и т. д.

Цель исследований состояла в определении оптимального состава цементно-волоконного композиционного материала для изготовления фиброцементных плит. Исследовано влияние цементно-песчаного отношения матрицы (Ц/П), удельной поверхности песка ( $S_{уд}$ ) и содержание волокон целлюлозы на физико-технические свойства полученного материала.

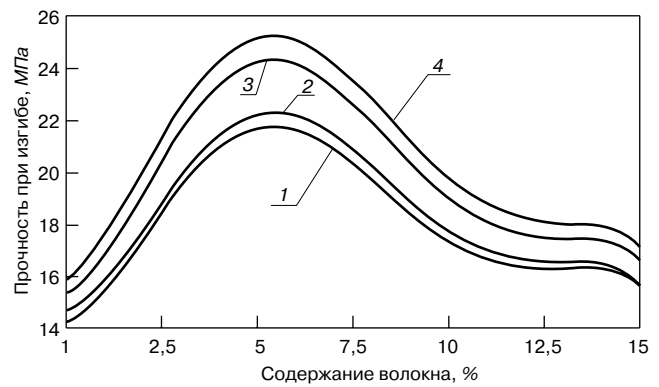
Для этого изготовлены образцы-плитки размерами  $220 \times 100 \times 7$  мм различного состава. Использовались следующие материалы: портландцемент Ульяновского цементного завода ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Н; песок кварцевый Камского месторождения удельной поверхностью  $S_{уд} = 192; 210; 310; 410$  м<sup>2</sup>/кг; целлюлоза хвойная сульфатная небеленая Соломбальского ЦБК (ГОСТ 11208–82). Приготовление фиброцементной смеси осуществлялось в следующем порядке: дезинтеграция волокон целлюлозы согласно ГОСТ 14363.4–89 (Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям); после завершения роспуска производили отфильтровывание волокна через фильтровальную сетку, смешивание волокна с цементом и песком до образования фиброцементной массы (ФЦМ) с концентрацией в воде 20–25%. После чего производили отфильтровывание полученной ФЦМ.

Далее укладывали ФЦМ в пресс-формы и прессовали по режиму: 10 мин – подъем давления до 600 Н/см<sup>2</sup> со скоростью – 10 кгс/с; 10 мин – выдержка под давлением.

После выдержки в течение 1 ч полученные образцы-плитки подвергались ТВО в пропарочной камере (по режиму: 2 ч – подъем температуры до 65°C, изотермическая выдержка в течение 4 ч, 2 ч – охлаждение), а затем автоклавной обработке (по режиму: 3 ч – подъем до температуры 175–180°C, 6 ч – изотермическая выдержка, 3 ч – охлаждение).

Испытания проводились согласно ГОСТ 8747–88 (Изделия асбестоцементные листовые). По результатам экспериментальных исследований получена математическая зависимость предела прочности при изгибе ФЦП от цементно-песчаного отношения матрицы, которая выражается полиномом второй степени следующего вида:  $R_{изг} = -4,05x^2 + 15,25x - 1$ , согласно которой максимальные показатели достигаются при Ц/П = 1/1,6–1/2,1.

Скорость реакций и прочность конгломератов возрастают по мере повышения дисперсности сырьевых материалов. В этой связи представляет интерес определение оптимального значения тонкости помола кварцевого песка, используемого при изготовлении образцов ФЦП. Для этого были изготовлены образцы-плитки с



Зависимость предела прочности при изгибе фиброцементных плит от содержания волокна: 1 –  $S_{уд} = 190$  м<sup>2</sup>/кг; 2 –  $S_{уд} = 210$  м<sup>2</sup>/кг; 3 –  $S_{уд} = 310$  м<sup>2</sup>/кг; 4 –  $S_{уд} = 410$  м<sup>2</sup>/кг

различной удельной поверхностью песка при оптимальном цементно-песчаном отношении, равным 1/2. По результатам исследований построена зависимость предела прочности при изгибе ФЦП с различной удельной поверхностью песка от содержания волоконного материала (рисунок).

Экспериментальные исследования показали, что максимальные показатели прочности при изгибе достигаются при содержании волокна 5–7,5% при цементно-песчаном отношении матрицы 1/2. При этом с увеличением удельной поверхности кварцевого песка со 190 до 210; 310; 410 м<sup>2</sup>/кг предел прочности при изгибе увеличивается на 3, 12 и 16% соответственно.

Таким образом, получен оптимальный состав цементно-волоконного композиционного материала для изготовления фиброцементных плит автоклавного твердения, при котором обеспечиваются достаточно высокие физико-механические и экономические показатели.

Полученные плиты обладают следующими физико-техническими характеристиками: средняя плотность 1600 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при изгибе 25 МПа; водопоглощение 15%. Они атмосферо- и морозостойкие, не воспламеняются и не распространяют огня, обладают низким коэффициентом температурного расширения, ударопрочные, влагонепроницаемые, долговечные, экологически безопасные, устойчивые к агрессивным средам. По массе значительно легче керамогранита, поэтому могут успешно использоваться для облицовки при реконструкции зданий с ограниченной нагрузкой на фундамент.

**Ключевые слова:** фиброцементные плиты, целлюлозные волокна.

#### Список литературы

1. Лунин Е.М., Баранов И.М. Фиброцементные крупно-размерные декоративно-отделочные плиты «МИНЕЛИТ» для облицовки фасадов зданий // Строит. материалы. 2004. № 7. С. 16–17.
2. Волочек И.З., Халдей Т.В., Иванова В.В., Чумадунова Л.И. Фиброцементные материалы на основе стеклянного волокна // Строит. материалы. 1992. № 8. С. 25–26.
3. Григорьева Л.С., Рабей М.Б., Сулейман О.В., Фишер И.М. Цементно-волоконные изделия с частичной заменой асбеста целлюлозным волокном // Строит. материалы. 1992. № 10. С. 25–26.
4. Latonit – новинка на российском рынке вентилируемых фасадов // Лучшие фасады. 1997. № 14. С. 60–61.
5. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: Изд-во АСВ, 2004. 560 с.

## Влияние активации на свойства строительных растворов

Экономический кризис сильно повлиял на строительную отрасль. В связи с этим усугубилась проблема экономии строительных материалов, в частности цемента. Решение проблемы экономии цемента возможно при введении в технологическую цепочку дополнительного процесса механической активации вяжущих. В.И. Молчанов, Т.С. Юсупов [1] в своих трудах отмечают, что практически при любом процессе тонкого измельчения неорганических материалов происходит механическая активация (активация измельчением).

Под механохимическими процессами согласно представлениям большинства исследователей понимаются изменения на поверхности веществ, происходящие при механическом воздействии. В момент активации вещества при измельчении на поверхности возникают активные центры и радикалы, при этом происходят изменения в кристаллической или аморфной структуре поверхностных слоев.

При производстве растворов и бетонов сложно учитывать фактор хранения цемента. Любой цемент при хранении теряет 10–15% своей активности в течение месяца. Причиной такого процесса является не только атмосферная влага, но и воздействие атмосферного  $\text{CO}_2$ . Проблема серьезная, но она может решаться с помощью механической активации как одного цемента отдельно, так и смеси его с песком. Применение активированных неорганических вяжущих позволяет повысить марку растворов и бетонов, а также снизить расход вяжущего.

Применение механической активации веществ при производстве материалов раньше сдерживалось отсутствием надежно работающих мельниц-активаторов. В настоящее время мельницы, работающие в различных режимах, созданы и частично внедрены в производство [2–4]. При обработке неорганических вяжущих в мельницах-активаторах на фоне измельчения происходят структурные изменения поверхности вещества. Появляется множество поверхностных дефектов, вещество становится реакционноспособным. При обработке нескольких компонентов происходит взаимодействие (химическая реакция) между ними, что может привести иногда к противоположным результатам.

Авторами проведены исследования влияния механической активации на свойства портландцемента и цементно-песчаных смесей, а также на свойства растворов, приготовленных на их основе. В исследовании использовался разработанный Рыбинским авиационным университетом лабораторный центробежно-лопаточный смеситель-диспергатор (ЦЛС), который по сравнению с большинством механических активаторов потребляет меньше энергии [5]. Данный смеситель-диспергатор представляет собой вертикальный вращающийся сосуд с неподвижной лопаткой (рисунок).

Механическая активация смесей проводилась во влажном и сухом состояниях. В первом случае активация и частичная гидратация цементных частиц происходила одновременно. Во втором случае цементно-песчаная смесь активировалась всухую, после чего затворялась водой и перемешивалась вручную.

В состав цементно-песчаной смеси входит песок из местного карьера (Ставропольский край) с высокой во-

допотребностью, что влечет за собой увеличение водоцементного отношения. Исследования проводились в летнее время, поэтому первоначальная температура смесей оказалась выше нормативной ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) и составляла  $24\text{--}26^\circ\text{C}$ , что соответствовало реальной температуре инертных материалов в условиях производства.

При активации цементно-песчаных смесей состава Ц:П=1:3 в мокром состоянии повышалась их температура и наблюдалась потеря воды. Для достижения одинакового диаметра распыла конуса по ГОСТ 310.4-81, равного 16 см, после активации было необходимо вводить дополнительно воду. Готовились образцы-балочки из цементно-песчаных смесей по ГОСТ 5802-86, ГОСТ 310.4-81. Образцы проходили тепловлажностную обработку по режиму 2–8–2 ч при  $80^\circ\text{C}$ , на следующие сутки их испытывали. Результаты испытаний цементно-песчаных смесей, активированных в мокром состоянии, представлены в табл. 1.

Как следует из данных табл. 1, показатели прочности цементно-песчаных растворов после активации (состав 2) возрастают в 2,1 раза (прочность при сжатии) и в 1,5 раза (прочность на растяжение при изгибе) по сравнению с неактивированным составом 1. Однако вследствие повышения температуры раствора при активации происходила потеря воды со снижением В/Ц от 0,9 в исходном неактивированном растворе до 0,73 в растворе после активации.

Снижение В/Ц, как известно, приводит к повышению прочности растворов, и в этом случае трудно судить об эффективности активации состава 2. Для устранения действия этого фактора была введена дополнительная вода после активации цементно-песчаного раствора (состав 2) до достижения диаметра распыла конуса, равного 16 см (состав 3). Как видно из табл. 1, фактическое В/Ц в цементно-песчаном растворе (состав 3) стало равным 1,04 при диаметре распыла конуса 16 см. Сравнение показателей прочности составов 3 и 1 показало, что в образцах из активированного раствора при равном распыле конуса показатели прочности при сжатии составе 3 в 1,7 раза больше, чем в неактивированном составе 1, а прочность на растяжение при изгибе возросла в 1,6 раза,



Лабораторный центробежно-лопаточный смеситель-диспергатор (ЦЛС) Рыбинского авиационного университета с частотой вращения рабочей емкости 950 об/мин.

Таблица 1

Номер состава	Время активации смеси, мин	В/Ц исходное	Потери воды при активации, %	Количество дополнительной воды, %	В/Ц фактическое	Диаметр расплыва смеси, см	Температура смеси, °С		Прочность при сжатии, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа
							до активации	после активации		
1	0	0,9	–	–	0,9	16	24	25	3,9	0,81
2	3	0,9	18,5	–	0,73	13	24	44	8,24	1,25
3	3	0,9	–	15,5	1,04	16	24	43,7	6,47	1,29
4	3	1,04	8,7	–	0,95	18	24	40	5,25	0,97

Таблица 2

Номер состава	Время активации смеси, мин	В/Ц	Диаметр расплыва смеси, см	Температура смеси, °С				Прочность при сжатии, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа
				до активации	после активации	перед добавлением воды	после добавления воды		
1	0	0,9	16	–	–	24	23	3,9	0,81
2	0	0,73	14	–	–	24	23	4,3	0,83
3	3	0,9	14	25	123	89	67	4,76	0,88
4	3	0,73	12	26	110	77	54	6,64	1,19

т. е. в такой же степени, как и в составе 2 с меньшим В/Ц. Причиной этого может быть то, что во время механической активации происходило одновременное измельчение компонентов. В частности, при активации в сухом состоянии песка его модули крупности снизились от 1,62 до 1,6; 1,59 и 1,57 после активации соответственно в течение 1, 2 и 3 мин. Как известно, при использовании более мелких заполнителей в растворах повышается В/Ц для достижения равного диаметра расплыва конуса. После активации цементно-песчаных смесей состава Ц:П=1:3 в сухом состоянии вводилась вода в количестве, соответствующем В/Ц=0,9 и В/Ц=0,73. Результаты испытаний цементно-песчаных смесей, активированных в сухом состоянии, представлены в табл. 2.

Во время механической активации цементно-песчаных смесей в сухом состоянии происходило измельчение и трение частиц составляющих компонентов друг о друга и о стенки активатора, в результате чего температура активированной смеси повышалась в 4–5 раз (до 110–123°С). Повышение эффективно влияло на ускорение процесса гидратации цемента.

Из табл. 2 следует, что показатели прочности цементно-песчаных растворов после активации (состав 4) возрастают в 1,2 раза (прочность при сжатии) и в 1,1 раза (прочность на растяжение при изгибе) по сравнению с неактивированным составом 1. При этом в зависимости от активации и В/Ц изменяется расплыв конуса, что свидетельствует об изменении размеров частиц составляющих компонентов.

Как видно из проведенных опытов, наибольшую прочность по сравнению с неактивированным составом 1 имеет цементно-песчаный раствор, активированный в сухом состоянии в течение 3 мин, при В/Ц=0,73 (состав 4). Таким образом, экспериментально подтверждена эффективность механической активации цементно-песчаных растворов, позволяющая повысить прочность растворов почти в два раза по сравнению с прочностью растворов, изготовленных из неактивированного вяжущего.


**Список литературы**

1. Молчанов В.И., Юсупов Т.С. Физические и химические свойства тонкодиспергированных минералов. М.: Недра, 1981. 160 с.
2. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П. Вибрационная дезинтеграция – универсальная технология для

переработки материалов // Строит. материалы. 2002. № 9. С. 41–43.

3. Хетагуров В.Н., Каменецкий Е.С., Гегелашвили М.В. Центробежная мельница вертикального типа для производства минеральных порошков // Строит. материалы, 2002. №10. С. 35–37.
4. Полугрудов А.В., Дутов И.Н. Использование вибромельницы ВМ-200 для тонкого помола // Строит. материалы, 2003. № 4. С. 12–13.
5. Серебряков С.П., Калинин Н.А., Попков К.Н., Афанасьев А.Г. Патент RU 2274494. с. 2. 12.04.2004. Б.И. 2006. № 11. Способ обогащения кварцевого песка.

## Новая книга



**В.И. Корнеев, П.В. Зозуля**

### СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ СОСТАВ, СВОЙСТВА

М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2010. – 320 с.

Изложены основы современных представлений о сухих строительных смесях и растворах.

Приведены основные определения и классификации сухих смесей. Охарактеризованы составляющие: вяжущие, заполнители, наполнители, функциональные добавки. Показана методика проектирования составов. Описаны основные группы ССС, их состав и свойства. В приложении даны основные применяемые термины и определения, наиболее употребляемые единицы измерения, перечень российских и зарубежных стандартов и др.

Допущено учебно-методическим объединением в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов».

---

**Стоимость одного экземпляра 900 р. без учета доставки**  
**По вопросам приобретения книги обращаться по тел./факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36**  
**E-mail: mail@rifsm.ru**

А.П. ПИЧУГИН, д-р техн. наук, С.А. ГОРОДЕЦКИЙ, инженер,  
В.И. БАРЕЕВ, канд. техн. наук, Новосибирский государственный аграрный университет

## Комплексная защита сельскохозяйственных объектов от коррозионного разрушения

В настоящее время в Российской Федерации функционирует более 1600 крупных животноводческих предприятий, птицефабрик с бесподстилочным содержанием животных и птицы. Ежегодно объемы производства жидкого, полужидкого навоза, помета, навозных и пометных стоков в хозяйствах страны превышает 165 млн т. При этом около половины навоза не используется, загрязняя территории. Развитие агропромышленного комплекса в большинстве случаев сопровождается наличием отходов производства, многие из которых представляют угрозу не только для окружающей среды, но и для самих зданий и сооружений сельскохозяйственного назначения. Например, средняя ферма на 1500–2000 коров ежегодно выделяет не менее 50–70 тыс. т отходов. При этом навоз чаще всего складывается вблизи фермы или на ее территории рядом со зданиями. При неправильной организации технологического обеспечения приходят в негодность инженерные объекты и транспортные коммуникации; выходят из строя лотки и каналы навозоудаления, полы в проходах и стойлах, напорные трубопроводы, отстойники, навозожижеприемники и очистные сооружения. Все это приводит к значительным экономическим потерям, к снижению эффективности производства, к ухудшению экологической обстановки вокруг производственных сельскохозяйственных зон [1, 2].

Большинство животноводческих объектов, в том числе полы, лотки, каналы, отстойники, очистные сооружения и навозохранилища, возведены из бетона и железобетона, который наиболее интенсивно разрушается под воздействием агрессивной среды животноводческих помещений. Поэтому защита бетонных и железобетонных элементов и частей зданий сельскохозяйственного назначения – задача актуальная и в настоящее время.

Современные представления о коррозии бетона характеризуют ее как разрушение, вызванное электрохимическими или химическими преобразованиями, происходящими в среде нахождения объекта. При этом степень агрессивности среды может быть представлена по реакции водных растворов, которые определяются по величине водородного показателя рН. Практически нейтральными считаются водные растворы с водородным показателем рН = 6–8. При значении рН 4,5–10 скорость коррозии можно оценивать как среднюю, при значении свыше 10 – как малую и при значении меньше 4,5 – как значительную [1, 2].

Агрессивные реагенты в зависимости от условий производства могут быть в жидкой, парообразной и газообразной фазах, вследствие чего и воздействие их на конструкции различно. На бетон и железобетон наиболее интенсивно действуют кислые среды, особенно в жидкой фазе.

Агрессивные продукты, оказывающие коррозионное воздействие на бетоны, могут встречаться не только в жидком, но и в газообразном состоянии. Скорость развития коррозионных процессов бетона и железобетона зависит от влажности воздуха, которая в животноводческих помещениях в зимнестойловый период до-

стигает 90–100%, что способствует не только интенсивному конденсатообразованию, но и за счет диффузии влаги насыщает ей практически все конструкции. Такое состояние представляет значительную опасность для частей зданий из бетона и железобетона, особенно при наличии в атмосфере  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ , а также сероводорода, аммиака, хлористых соединений и других газов. Количество аммиака и углекислого газа, как и других вредных веществ, в два-три раза превышает нормируемые показатели. Так, при допустимой кратковременной норме 5–20 мг/м<sup>3</sup> в коровниках и свинарниках отмечалась концентрация аммиака в воздухе животноводческих помещений более 40 мг/м<sup>3</sup>; при норме углекислого газа 2,5 мг/м<sup>3</sup> были отмечены концентрации до 7,2–8,4 мг/м<sup>3</sup>, что приводило к интенсивному разрушению строительных конструкций. Следует отметить, что зимнестойловый период в сибирских регионах длится 210–230 дней.

Таким образом, для увеличения срока службы строительных конструкций и частей животноводческих зданий и сооружений необходима надежная универсальная защита, способная обеспечить коррозионную стойкость и долговечность. При этом композиция должна быть недефицитной, недорогой, малокомпонентной, неканцерогенной, технологичной и должна создавать надежную защиту подвергаемых интенсивному коррозионному разрушению материалов. Из распространенных в настоящее время полимерных монокомпонентов трудно подобрать отвечающий всем этим требованиям. Поэтому было определено направление получения бинарных композиций на основе латекса, дисперсии ПВА, акриловых составов, жидкого стекла и др. Основное преимущество выбранных композиций то, что все они могут быть совместимы с водой. Следовательно, при введении воды можно регулировать их реологические характеристики, а за счет введения наполнителей и активных минеральных добавок ускорять набор прочности и снижать усадочные деформации.

Известно, что ненаполненные латексные композиции не позволяют получить прочные водостойкие покрытия с хорошей адгезией к покрываемым материалам. Для улучшения этих свойств в композиции вводят различные ингредиенты: серу, оксид цинка, ускорители вулканизации и др., что является нетехнологичным в условиях сельского строительства. Поэтому практический интерес представляют латексные смеси, модифицированные жидким стеклом. Для активирования вулканизации в некоторые составы вводили в качестве добавок пиритные огарки [3, 4].

Наиболее подходящей с точки зрения удовлетворения предъявляемым требованиям была дополнительно выбрана полимерсиликатная композиция, состоящая из жидкого стекла и дисперсии ПВА. Во-первых, эти жидкости хорошо сочетаются друг с другом; во-вторых, они длительное время сохраняются в совмещенном виде; в-третьих, они могут разжижаться водой. Это делает их универсальной композицией по реологическим параметрам и создает возможность регулирования сроков отверждения, а также использовать их в качестве со-



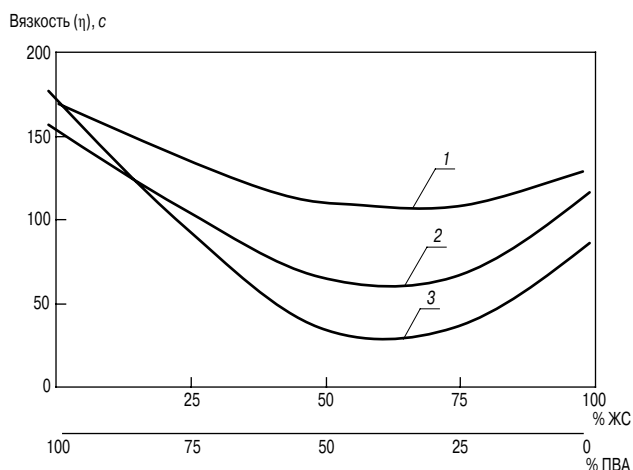


Рис. 1. Зависимость вязкости пропиточной композиции от соотношения компонентов: 1 – 0% воды; 2 – 10% воды; 3 – 30% воды

става для предварительной обработки защищаемой поверхности материала. Таким образом, дальнейшая задача заключалась в отработке рецептур компонентов, определении оптимальных составов для защиты различных материалов, отвечающих заданным критериям. На рис. 1 представлены значения вязкости полимерсиликатной композиции по вискозиметру ВЗ-4 при различном соотношении компонентов.

Таким образом, оптимальное соотношение компонентов жидкое стекло: ПВА находится в пределах от 60:40 до 85:15 мас. %. Аналогичным образом было определено оптимальное соотношение латекса СКС-65ГП и жидкого стекла – жидкое стекло:латекс = 70:30–90:10 мас. %. Следует отметить, что обе эти полимерсиликатные композиции хорошо разбавляются водой, что обеспечивает простое регулирование их технологических и эксплуатационных свойств.

Дальнейшие исследования проводили на защитных покрытиях древесины, каменных материалов, бетона и железобетона. Изучены свойства плит и проведена сравнительная оценка стойкости покрытия к действию воды по показателям диффузии, сорбции и проницаемости. Используемые в качестве пленкообразователя защитные полимерсиликатные составы в виде пленок, полученных методом отлива на стекле, подвергали различным испытаниям в агрессивных средах.

По физико-механическим свойствам (табл. 1) полимерсиликатные пленки покрытия значительно лучше моносоставов, а при введении воды в защитную композицию характеризуются повышенными показателями деформативности и водостойкости.

Предварительные исследования полимерсиликатных композиций, показавшие высокие защитные свойства по отношению к бетону и древесине, выявили и недостаток этих составов, заключающийся в высоком показателе усадки при отверждении. Поэтому в дальнейшем было предложено вводить в эти составы минеральные

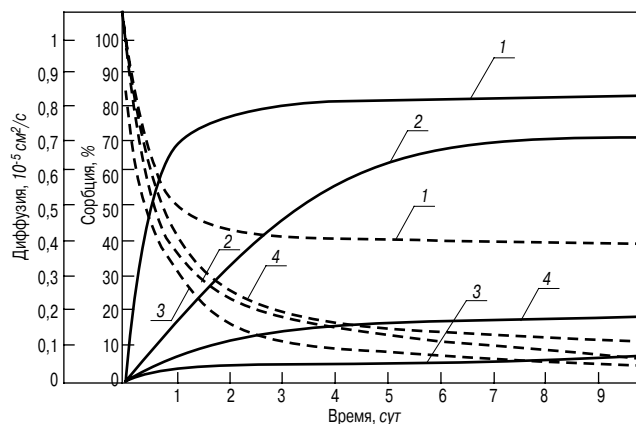


Рис. 2. Изменение защитных свойств покрытий: 1 – образцы без покрытия; 2 – образцы с покрытием из моносоставов; 3 – образцы с полимерсиликатным защитным покрытием на основе ПВА; 4 – образцы с полимерсиликатным защитным покрытием на основе латекса

порошки, снижающие усадочные напряжения и уменьшающие значения коэффициента линейного температурного расширения. С этой целью было изучено влияние минеральных порошков на адгезию и деформативные свойства защитных композиций (табл. 2) [3, 4].

Как видно из приведенных выше результатов испытаний, все полимерминеральные системы обладают достаточной адгезией к цементному основанию при введении минеральных порошков до 15%. Дальнейшее повышение количества вводимого минерального компонента приводит к увеличению вязкости составов и снижению прочности сцепления. Поскольку максимум адгезионной прочности показали два компонента – цемент и отходы асбестоцементного производства, были исследованы бинарные смеси, которые при совместном введении в полимерсиликатные композиции способствовали повышению адгезионной прочности на 15–25%.

Для определения защитных свойств покрытий (табл. 3) использовали образцы древесины и бетона размером 100×100×10 мм. Для определения водопоглощения образцы покрытий и образцы, защищенные со всех сторон, погружали в сосуд с водой и через 24 ч взвешивали на аналитических весах. Водопоглощение определяли как разницу массы образцов до и после пребывания в воде, отнесенную к первоначальной их массе. Эластичность пленки изучали с помощью шкалы гибкости ШГ-1, она оказалась высокой. Химическую устойчивость определяли путем визуального осмотра образцов с покрытиями после выдержки в парах аммиака 30% концентрации. Химическую стойкость покрытия оценивали и весовым методом.

Представленные в табл. 3 данные показывают, что предлагаемые композиции, способы их модификации значительно улучшают свойства строительных материалов и условия работы конструкций способствуют снижению диффузионной проницаемости покрытий, а сле-

Таблица 1

Свойства	Виды защитных пленок					
	Латекс	Латекс + жидкое стекло	Латекс + жидкое стекло + вода	ПВА	ПВА + жидкое стекло	ПВА + жидкое стекло + вода
Прочность пленки, МПа	2,3–2,5	4,8–5,6	3,7–4,4	5,9–6,2	7,9–8,2	5,2–6
Относительное удлинение при разрыве, %	320	240	340	230	210	270
Водопоглощение за 24 ч, %	33,7	8,3	10,9	5,4	3,8	6,7
Разбухание за 24 ч, %	10,4	2,8	3,9	4,2	1,6	2,6

Таблица 2

Вид наполнителя	Адгезия защитных композиций к цементному бетону, МПа, при введении минеральных порошков, % , в композиции					
	латекс + жидкое стекло + вода			ПВА + жидкое стекло + вода		
	5	10	15	5	10	15
Песок речной	2,9	2,9	2,8	3,5	4,1	3,8
Асбестоцементные отходы	4,1	4,9	3,5	4,4	5,7	5,5
Цемент	4,2	5,9	5,0	5,9	8,4	6,3
Гипс	3,1	3,7	3,4	4,1	5,6	4,7
Молотый керамзит	3,4	4,6	4,1	23,5	5,5	4,8-
Глина	2,4	2,7	2,5	3,5	4,9	3,2
Цемент + асбестоцементные отходы	4,7	6,8	6,1	6,2	7,6	7,3

Таблица 3

Состав	Водопоглощение за 24 ч, %		Влагопоглощение за 24 ч, %		Поглощение паров аммиака за 24 ч, %		Адгезия, МП	
	древесина	бетон	древесина	бетон	древесина	бетон	древесина	бетон
Л	3,4	0,8	0,78	0,21	2,02	0,26	4,93	2,9
Л+ЖС	0,9	0,82	0,49	0,06	0,65	0,09	8,51	4,52
Л+ЖС+В	1,4	0,63	0,63	0,13	0,87	0,12	7,59	4,5
П	2,1	0,62	0,69	0,24	1,23	0,23	6,01	5,48
П+ЖС	0,8	0,41	0,34	0,07	0,54	0,06	7,84	7,87
П+ЖС+В	3,3	0,77	0,52	0,11	0,68	0,09	7,12	6,95
Образцы без покрытия	26,7	10,7	2,91	0,62	3,06	2,03	–	–

**Примечание.** Л – латекс; ЖС – жидкое стекло; В – вода; П – ПВА.

довательно, повышению химической стойкости и снижению влаго- и водопоглощения.

Стойкость модифицированных полимерсиликатных покрытий в условиях воздействия паров аммиака в 3–4 раза выше, чем у образцов с моносоставами независимо от вида материала. При длительном пребывании образцов с покрытиями в среде повышенной влажности на его поверхности появляются различные грибки, разрушающие покрытия. В частности, для латексных покрытий наибольшую опасность представляют плесневые грибки. Длительные испытания в течение 60–90 сут образцов древесины и бетона с полимерсиликатными покрытиями показали незначительное обрастание поверхности пленки – до 5%. Одним из важнейших показателей защитных покрытий является проницаемость, которая характеризует комплекс изолирующих свойств покрытий, их способность препятствовать проникновению жидкостей и других реагентов к поверхности подложки. В практических условиях сельскохозяйственных построек приходится сталкиваться с проницаемостью водных растворов и водяных паров. Результаты исследований по определению коэффициентов диффузии, сорбции и проницаемости приведены на рис. 2.

Анализ рис. 2 показывает изменения сорбции образцов с полимерсиликатным защитным покрытием на основе дисперсии ПВА или латекса СКС-65ГП. Сравнение этих кривых показывает, что поглощение воды пленками с полимерсиликатными композициями значительно меньше, чем у остальных, что свидетельствует о хорошей сплошности покрытия. Коэффициент проницаемости модифицированного полимерсиликатного покрытия составил  $0,1 \cdot 10^{-5}$  ч·см/с<sup>2</sup>, что меньше в 2,6 раза покрытия из ПВА и в 7 раз латексного.

Увеличение прочности пленок, уменьшение относительного удлинения при разрыве наряду со значитель-

ным снижением водопоглощения полимерсиликатных покрытий свидетельствует о повышении степени сшивки полимерных молекул, устойчивости сетки к расширению при набухании. Данные ИК-спектроскопии подтверждают результаты физико-механических испытаний предлагаемых полимерсиликатных защитных покрытий. По результатам исследований разработаны и внедрены составы защитных полимерсиликатных покрытий широкого спектра действия для защиты от увлажнения и коррозионных сред различных строительных конструкций и частей зданий сельскохозяйственного назначения.

**Ключевые слова:** латекс СКС-65ГП, дисперсия ПВА, коррозионные среды, полимерсиликатные защитные композиции.

#### Список литературы

1. Пичугин А.П. Полы животноводческих помещений и пути повышения их эффективности // Строит. материалы. 2000. № 3. С. 14–15.
2. Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Авраменко В.В. Эффективное применение полимерных материалов в сельском строительстве: В сб. «Полимеры в строительстве». Казань: КазГАСА, 2009. С. 87–89.
3. Хританков В.Ф., Кудряшов А.Ю., Пичугин А.П. Оптимизация составов для защиты крупного органического заполнителя и упрочнения материалов стен // Строит. материалы. 2009. № 3. С. 60–63.
4. Денисов А.С., Пичугин А.П., Кудряшов А.Ю. Повышение прочности стен полимерной пропиткой при устройстве навесных фасадов // Строит. материалы. 2007. № 3. С. 44–47.

А.В. КОРОЧКИН, канд. техн. наук, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

## Алгоритм расчета покрытий жесткой дорожной одежды

Жесткими дорожными одеждой называют дорожные одежды, в составе которых присутствуют слои, укрепленные минеральными вяжущими. Особое внимание ученых в дорожной отрасли концентрировалось на изучении дорожных одежд с цементобетонным покрытием. Исследование и изучение физических процессов привело к созданию теории расчета цементобетонных слоев как плит на упругом основании.

В случае устройства на цементобетонном слое асфальтобетонного покрытия цементобетон часто называют основанием дорожной одежды, хотя в данном случае и цементобетон, и асфальтобетон являются элементами покрытия. В настоящее время в литературе можно встретить оба термина, обозначающих жесткую дорожную одежду с асфальтобетонным покрытием.

Под прочностью понимают свойство материала оказывать в определенных условиях и пределах сопротивление разрушению от различных внешних физических воздействий, сопровождающихся возникновением в нем напряжений. Применительно к дорожным одеждам под прочностью понимают ее свойство со-

хранять сплошность поверхности и ровность в допустимых пределах под воздействием многократно повторяющихся нагрузок автотранспортных средств и природно-климатических условий в течение срока службы [1].

В международной практике существует около десятка различных таких моделей, наиболее известными из которых являются модель упругого изотропного линейно-деформируемого полупространства и модель Фусса–Винклера. Однако существует ряд моделей, которые являются уточнением рассмотренных, — модель П.Л. Пастернака с двумя коэффициентами постели, модель И.И. Черкасова и Г.К. Клейна в которой отдельно учитываются восстанавливающиеся и остаточные деформации, модель А.П. Сеницына и др.

Расчет цементобетонных покрытий на основе теории упругости впервые был разработан американским ученым Уэстенгардом, в котором применяется модель Фусса–Винклера, предложенная отечественным ученым Фуссом и характеризующаяся коэффициентом постели (рис. 1). Наряду с Уэстенгардом ценный вклад в теорию расчета внесли такие ученые, как Брэдбери, Харджер, Ольдер, Вильямс, Вильсон и др.

Модель Фусса–Винклера удобна с позиции ее применимости, так как требуется только один параметр грунта — коэффициент постели, или коэффициент пропорциональности между прикладываемой нагрузкой и перемещением грунта, когда локальная упругая деформация грунта под нагрузкой, т. е. деформация грунтового массива, происходит непосредственно под нагрузкой. Такое явление описывает происходящее с грунтовым массивом в переувлажненном состоянии и, как показывают исследования, может быть использована при влажности  $\omega > 0,75\omega_T$ , когда распределительная способность грунтового основания незначительна. Коэффициент постели определяется по зависимости:

$$k = \frac{P}{l}, \quad (1)$$

где  $P$  — интенсивность давления, МПа;  $l$  — перемещение, см.

Уэстенгардом были получены зависимости для определения напряжений и перемещений в различных сечениях цементобетонной плиты (рис. 2) [ГОСТ 26633–91].

Формулы имеют следующий вид, соответственно для нагрузки расположенной в центральной части плиты (2), на краю плиты (3), на углу плиты (4):

$$\sigma_{\text{ц}} = 0,275(1 + \mu) \frac{P}{h^2} \lg \frac{E \cdot h^3}{k \cdot R^4}, \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{к}} = 0,529(1 + \mu) \frac{P}{h^2} (\lg(\frac{E \cdot h^3}{k \cdot R^4}) - 0,71); \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{у}} = \frac{3P}{h^2} \left(1 - \left(\frac{12(1-\mu^2) \cdot k}{E \cdot h^3}\right)^{0,15} \cdot (R\sqrt{2})^{0,6}\right), \quad (4)$$

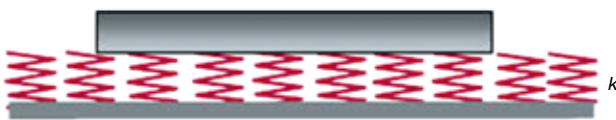


Рис. 1. Модель Фусса–Винклера с коэффициентом постели  $k$

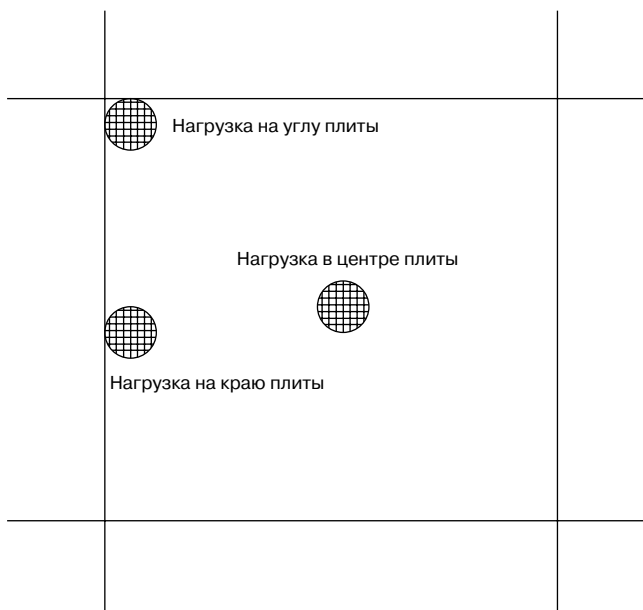


Рис. 2. Схема расположений нагрузок для определения напряжений и деформаций

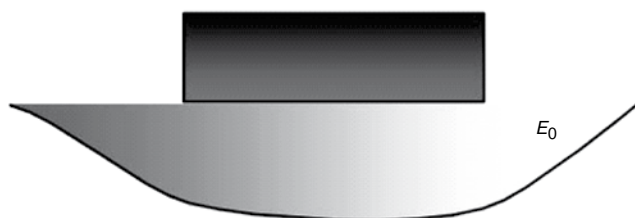


Рис. 3. Модель упругого изотропного линейно-деформируемого полупространства

где  $\sigma_{\text{н}}, \sigma_{\text{к}}, \sigma_{\text{у}}$  – наибольшие растягивающие напряжения при соответствующем приложении нагрузки, МПа;  $P$  – нагрузка на плиту от колеса автомобиля, кН;  $h$  – толщина плиты, см;  $R$  – радиус круга, равновеликого площади контакта колеса с покрытием, см;  $E$  – модуль упругости бетона, МПа;  $k$  – коэффициент постели грунтового основания, МПа/см;  $\mu$  – коэффициент Пуассона, или поперечной деформации бетона.

Прогиб (перемещение) центра плиты определяется по зависимости:

$$W_{\text{н}} = \frac{q}{k} \cdot g(\alpha) + \sum_{\xi=2}^{N_k} \frac{P}{4 \cdot l^2 \cdot k} \cdot f_0(\xi), \quad (5)$$

где  $q$  – давление в шинах колес, МПа;  $k$  – расчетный коэффициент постели грунтового основания, определяемый по результатам полевых испытаний грунтов;  $g(\alpha)$  – функция в зависимости от приведенного радиуса нагрузки  $\alpha = \frac{R}{l}$ ;  $f_0(\xi)$  – функция в зависимости от приведенного расстояния;  $l$  – упругая характеристика плиты, см;  $P$  – расчетная нагрузка, кН.

В отечественной дорожной практике в расчете цементобетонных покрытий применяется модель упругого изотропного полупространства (рис. 3). Многие советские и зарубежные ученые внесли огромный вклад как в теорию расчета цементобетонных покрытий, так и в решение прикладных задач.

Модель упругого изотропного линейно-деформируемого полупространства характеризуется модулем упругости грунта или модулем деформации грунта, включающей также и остаточные деформации. Грунт рассматривается как линейно деформируемое полупространство, обладающее упругими свойствами [2].

Модуль упругости грунта при испытаниях определяется зависимостью:

$$E_0 = \frac{\pi \cdot p \cdot D \cdot (1 - \mu^2)}{4 \cdot l}, \quad (6)$$

где  $p$  – давление на штамп, МПа;  $D$  – диаметр штампа, см;  $l$  – абсолютная деформация, см.

Особенностью модели упругого изотропного полупространства является то, что при нагружении грунтового массива осадка распространяется за пределами штампа, затухая по мере удаления нагрузки. Наибольшая осадка непосредственно под штампом. Расчеты показывают, что данная модель более точная в расчетах по сравнению с моделью Винклера, однако натурные исследования грунта опровергают излишние деформации за границей приложения нагрузки, а также завышенные деформации грунта. Рассматриваемая модель имеет хорошую сходимость результатов для связных грунтов и когда грунт в сухом состоянии.

Напряжение растяжения при изгибе определяется по формуле для упругого изотропного полупространства:

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W}, \quad (7)$$

где  $\sigma_i$  – напряжение растяжения при изгибе от нагрузки в рассматриваемом сечении, МПа;  $M_i$  – изгибающий

момент от нагрузки в рассматриваемом сечении плиты, Н·м;  $W$  – момент сопротивления сечения покрытия шириной один см, м<sup>2</sup>.

Прогиб покрытия в центре плиты вычисляется по формуле:

$$W = W_1 + \sum_{i=2}^{N_k} W_i, \quad (8)$$

где  $W_1$  – прогиб покрытия от колеса, центр отпечатка которого совпадает с расчетным сечением, мм;  $W_i$  – прогиб покрытия от воздействия колеса, расположенного за пределами расчетного сечения, мм;

$$W_1 = 0,385 \cdot P \cdot \frac{(1 - \mu_0^2)}{E_0 \cdot L}; \quad (9)$$

$$W_i = \overline{W}_i \cdot P \cdot \frac{(1 - \mu_0^2)}{E_0 \cdot L}, \quad (10)$$

где  $\overline{W}_i$  – единичный прогиб покрытия, определяемый в зависимости от приведенного расстояния ( $\rho_i = \frac{r_i}{l}$ ) от линии действия шин до точки, в которой определяется прогиб;  $E_0$  – модуль упругости грунтового основания, МПа;  $L$  – упругая характеристика плиты, см;  $P$  – расчетная нагрузка, кН;  $\mu_0$  – коэффициент Пуассона для грунтового основания.

В России расчет дорожных одежд с цементобетонным покрытием выполняли по методу предельных состояний. Задача заключалась в том, чтобы обеспечить запас прочности для предотвращения наступления предельного состояния в период эксплуатации под воздействием транспортных нагрузок и природно-климатических факторов [3]. В момент наступления предельного состояния конструкция несоблюдает сопротивляться внешним воздействиям, что приводит к потере несущей способности, которая обеспечивалась условием:

$$M_p \leq M_{\text{пр}}, \quad (11)$$

где  $M_p$  – расчетный момент в сечении плиты при наиболее невыгодном расположении колес;  $M_{\text{пр}}$  – предельно допустимый для рассматриваемого сечения изгибающий момент.

Существующий расчет цементобетонных покрытий базируется на сопоставлении расчетной прочности бетона на растяжение при изгибе и напряжений, возникающих вследствие приложения нагрузки и действия температуры. Критерий прочности дорожных одежд с цементобетонным покрытием имеет вид:

$$K_{\text{пр}} \leq \frac{R_{\text{расч}}}{\sigma_{\text{рл}}}, \quad (12)$$

где  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент прочности;  $R_{\text{расч}}$  – расчетная прочность бетона на растяжение при изгибе;  $\sigma_{\text{рл}}$  – напряжения растяжения при изгибе, возникающие в бетонном покрытии от действия нагрузки, с учетом перепада температуры по толщине плиты.

В случае, когда напряжение превысит прочность при изгибе, наступит разрушение покрытия. Возникновение напряжений в бетонном покрытии связано с временной нагрузкой; колебанием температуры; изменением влажности цементобетона; изменением объема грунта земляного полотна под влиянием намочения и высушивания; вспучиванием грунта из-за промерзания.

Первостепенную роль играют напряжения от нагрузки, а также от колебаний температур и влажности. Немаловажную роль играет расположение нагрузки на покрытии, приводящее к наибольшим растягивающим напряжениям в бетоне, определяемым вышеуказанными формулами Уэстенгарда и (7).

Жесткая дорожная одежда обладает прочностью, на порядок превышающей значения нежесткой конструкции. Одним из критериев расчета нежестких дорожных одежд является расчет по допускаемому упругому прогибу. Ряд ученых считает, что такой способ для жестких дорожных одежд неприменим, поскольку, на их взгляд, не существует связи с основным показателем прочности таких покрытий – удельным напряжением. Формулы определения прогибов цементобетонных покрытий как в центральной части плиты, так и в краевых ее участках позволяют рассчитывать конструкцию с позиции энергетического метода расчета дорожных одежд, предложенного А.В. Смирновым, где энергия деформации определяется как усилие на перемещение от нагрузки. Предложенный метод позволяет вести расчет как для нежестких, так и для жестких покрытий.

Таким образом, продолжается развитие и совершенствование теории расчета цементобетонных плит. Появляются новые подходы к расчету, такие как метод ко-

нечных элементов; расширяется применение современных вычислительных комплексов. Все это позволит разработать алгоритмы, учитывающие весь спектр воздействий и многообразие факторов, влияющих на конструкцию. Результатом данной работы должно стать обеспечение высокой прочности и долговечности конструкции.

**Ключевые слова:** цементобетон, асфальтобетон, прочность, напряжения, долговечность.

#### Список литературы

1. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд. М.: Информавтодор, 2004.
2. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. Изд 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1973. 151 с.
3. Корнев Б.Г., Черниговская Е.И. Расчет плит на упругом основании. Пособие для проектировщиков. М.: Стройиздат, 1962, 355 с.

УДК 625.731.1.042

Н.Е. КОКОДЕЕВА, канд. техн. наук (kokodeewa@mail.ru),  
Саратовский государственный технический университет

## Использование геосинтетического материала при проектировании дорожных одежд нежесткого типа (с учетом теории риска)

В настоящее время разработан отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.5.001–2009 «Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог» [1], носящий рекомендательный характер. Среди основной терминологии в данном документе дано определение *геосетки* как плоского рулонного материала сетчатой структуры, образованной эластичными ребрами из высокопрочных пучков нитей, скрепленных в узлах прошивочной нитью переплетением, склеиванием, сплавлением или иным способом с образованием ячеек, размеры которых больше образующих сетку ребер, обработанного специальными составами для улучшения свойств и повышения стабильности. При использовании геосетки на вновь сооружаемых дорогах и на новых участках реконструируемых дорог ОДМ 218.5.001–2009 рекомендует расчет дорожных одежд нежесткого типа осуществлять традиционно по ОДН 218.046–01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» [2]. Однако в отдельные пункты и расчетные формулы [2] внесены дополнения, касающиеся особенностей расчета на прочность дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием, армированным геоматериалом.

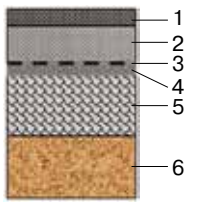
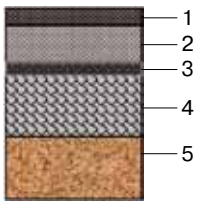
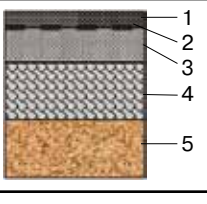
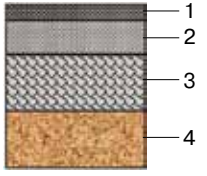
В [3–6] проведен детальный анализ расчета прочности материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе  $R_N$ , предлагаемый в [1]. В статье [3] рекомендуется помимо проверки дорожной одежды по основным трем критериям производить расчет риска возникновения трещин в монолитном слое при изгибе. Данное направление является актуальным, так как обеспечивает выполнение законов № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в РФ...», требующих эксплуатационные характеристики рассчитывать с учетом технических регламентов на основе оценки степени риска и степени причинения ущерба.

По предложенной методике [3] был выполнен анализ оценки нарушения сплошности монолитных слоев при изгибе для дорожных одежд капитального типа с усовершенствованным покрытием. Анализу подлежало требуемое количество конструкций дорожных одежд, определяемое методами математической статистики. В качестве примеров в табл. 1 приведены схемы рассмотренных двух конструкций дорожных одежд с применением геосетки и без нее, в табл. 2 даны расчетные характеристики материалов слоев.

Конструкции были рассчитаны по трем критериям в соответствии с [1, 2]: по допускаемому упругому проги-



Таблица 1

Схема конструкции	Наименование материалов, толщина слоев h, см
1-я конструкция (с геосеткой)	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Асфальтобетон горячий плотный, тип Б, на битуме марки БНД 60/90, h = 5 см.</li> <li>2. Асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90, h = 7 см.</li> <li>3. Геосетка 100/100-25.</li> <li>4. Асфальтобетон горячий высокопористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90, h = 8 см.</li> <li>5. Оптимальная щебеночно-гравийно-песчаная смесь (ЩГПС), обработанная цементом, марки 40, h = 20 см.</li> <li>6. Песок средней крупности, h = 37 см.</li> </ol>
1-я конструкция (без геосетки)	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Асфальтобетон горячий плотный, тип Б, на битуме марки БНД 60/90, h = 5 см.</li> <li>2. Асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90, h = 7 см.</li> <li>3. Асфальтобетон горячий высокопористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90, h = 8 см.</li> <li>4. Оптимальная ЩГПС, обработанная цементом, марки 40, h = 20 см.</li> <li>5. Песок средней крупности, h = 37 см.</li> </ol>
2-я конструкция (с геосеткой)	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Асфальтобетон горячий плотный, тип Б, на битуме марки БНД 60/90, h = 6 см.</li> <li>2. Геосетка 100/100-25.</li> <li>3. Асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90, h = 14 см.</li> <li>4. Оптимальная ЩГПС, обработанная цементом, марки 40, h = 20 см.</li> <li>5. Песок средней крупности, h = 37 см.</li> </ol>
2-я конструкция (без геосетки)	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Асфальтобетон горячий плотный, тип Б, на битуме марки БНД 60/90, h = 6 см.</li> <li>2. Асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90, h = 14 см.</li> <li>3. Оптимальная ЩГПС, обработанная цементом, марки 40, h = 20 см.</li> <li>4. Песок средней крупности, h = 37 см.</li> </ol>

бу; по условию сдвигустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев; по условию сопротивления монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

Установлено, что выбранные конструкции удовлетворяют всем критериям прочности.

Следует отметить, что конструкция дорожной одежды № 2 имеет такую же общую толщину слоев (77 см), как и дорожная одежда в конструкции № 1. Это достигнуто за счет увеличения толщин слоев асфальтобетона в конструкции № 2. При этом в отличие от конструкции № 1 слой из высокопористого асфальтобетона в конструкции дорожной одежды № 2 отсутствует. При расчете дорожных одежд по критерию упругого прогиба был установлен общий модуль упругости на поверхности покрытия, равный 416 МПа для обеих конструкций. Уровень надежности конструкций дорожных одежд № 1 и 2, представленных в табл. 1 и 2, составляет  $K_H=0,95$ . Следовательно, допустимая вероятность нарушения монолитных слоев при изгибе (образование трещин) к концу срока службы дорожной одежды должна составить:  $r_{доп}=1-0,95=0,05$ , т. е. из каждых 100 м<sup>2</sup> покрытия будет подвержено образованию трещин 5 м<sup>2</sup> покрытия.

В данной статье приводятся обозначения параметров расчета, определения которых отражены в статье [3]:  $E_H$  – общий модуль упругости на поверхности основания, МПа;  $E_B$  – средний модуль упругости слоев

асфальтобетона, МПа;  $h$  – суммарная толщина слоев асфальтобетона, см;  $\sigma_r$  – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, МПа;  $m_r$  – среднее квадратическое отклонение наибольшего растягивающего напряжения в рассматриваемом слое, МПа;  $R_N$  – предельное растягивающее напряжение материала слоя с учетом усталостных явлений, МПа;  $m_N$  – среднее квадратическое отклонение допустимого растягивающего напряжения в монолитном слое, при котором вероятность появления трещин равна 50%, МПа;  $m_{кр}$  – среднее квадратическое отклонение критического растягивающего напряжения, МПа;  $r$  – вероятность возникновения трещин в монолитном слое при изгибе на момент пуска автомобильной дороги в эксплуатацию.

Конструкции дорожных одежд (табл. 1) были рассчитаны при различных значениях коэффициентов вариации входящих параметров (табл. 3), а именно коэффициента вариации общего модуля упругости на поверхности основания ( $C_V^{E_H}$ ), коэффициента вариации среднего модуля упругости слоев асфальтобетона ( $C_V^{E_B}$ ), коэффициента вариации суммарной толщины асфальтобетонных слоев ( $C_V^h$ ). При этом, учитывая исследования проф. В.А. Семенова [7], необходимо иметь в виду, что  $C_V^{E_B}=C_V^{E_H}=C_V^h=0,1$  соответствует отличному качеству строительства;  $C_V^{E_B}=C_V^{E_H}=C_V^h=0,2$  – хорошему;  $C_V^{E_B}=C_V^{E_H}=C_V^h=0,3$  – удовлетворительному.

Таблица 2

Материал	h слоя, см	E, МПа, при расчете по допустимому упругому прогибу	Общий модуль упругости поверхности слоя	Расчет на растяжение при изгибе			
				E, МПа	R <sub>0</sub> , МПа	α	m
1-я конструкция (с геосеткой)							
Асфальтобетон горячий плотный, тип Б, на битуме марки БНД 60/90	5	3200	416	4500	9,8	5,9	5,5
Асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90	7	2000	340	2800	8	7,1	4,3
Геосетка 100/100-25	–	–	–	–	–	–	–
Асфальтобетон горячий высокопористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90	8	2000	260	2100	5,65	7,6	4
Оптимальная ЩГПС, обработанная цементом, марки 40	20	600	174	600	–	–	–
Песок средней крупности	37	120	85,2	120	–	–	–
Суглинок легкий W <sub>p</sub> = 0,644 W <sub>m</sub>	–	52,6	52,6	52,6	–	–	–
1-я конструкция (без геосетки)							
Асфальтобетон горячий плотный, тип Б, на битуме марки БНД 60/90	5	3200	416	4500	9,8	5,9	5,5
Асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90	7	2000	340	2800	8	7,1	4,3
Асфальтобетон горячий высокопористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90	8	2000	260	2100	5,65	7,6	4
Оптимальная ЩГПС, обработанная цементом, марки 40	20	600	174	600	–	–	–
Песок средней крупности	37	120	85,2	120	–	–	–
Суглинок легкий W <sub>p</sub> = 0,644 W <sub>m</sub>	–	52,6	52,6	52,6	–	–	–
2-я конструкция (с геосеткой)							
Асфальтобетон горячий плотный, тип Б, на битуме марки БНД 60/90	6	3200	416	4500	9,8	5,9	5,5
Геосетка 100/100–25	–	–	–	–	–	–	–
Асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90	14	2000	330	2800	8	7,1	4,3
Оптимальная ЩГПС, обработанная цементом, марки 40	20	600	174	600	–	–	–
Песок средней крупности	37	120	85,2	120	–	–	–
Суглинок легкий W <sub>p</sub> = 0,644 W <sub>m</sub>	–	52,6	52,6	52,6	–	–	–
2-я конструкция (без геосетки)							
Асфальтобетон горячий плотный, тип Б, на битуме марки БНД 60/90	6	3200	416	4500	9,8	5,9	5,5
Асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый на битуме марки БНД 60/90	14	2000	330	2800	8	7,1	4,3
Оптимальная ЩГПС, обработанная цементом, марки 40	20	600	174	600	–	–	–
Песок средней крупности	37	120	85,2	120	–	–	–
Суглинок легкий W <sub>p</sub> = 0,644 W <sub>m</sub>	–	52,6	52,6	52,6	–	–	–

Таблица 3

$E_B$	$E_H$	$h$	$\sigma_r$	$C_V^{E_B}$	$C_V^{E_H}$	$C_V^h$	$C_V^{\sigma_r}$	$m_r$	$R_N$	$m_N$	$\sigma_{KP}$	$m_{KP}$	$r$
1-я конструкция													
2945	174	20	0,765	0,1	0,1	0,1	$\frac{0,191}{0,191}$	$\frac{0,146}{0,146}$	1,17 0,82	0,117 0,082	$\frac{0,89}{0,32}$	$\frac{0,361}{0,252}$	$\frac{0,0019}{0,0281}$
				0,2	0,2	0,2	$\frac{0,341}{0,341}$	$\frac{0,261}{0,261}$			$\frac{1,997}{1,4}$	$\frac{0,681}{0,477}$	$\frac{0,0455}{0,121}$
				0,3	0,3	0,3	$\frac{0,491}{0,491}$	$\frac{0,376}{0,376}$			$\frac{2,06}{1,45}$	$\frac{1,01}{0,59}$	$\frac{0,1151}{0,164}$
2-я конструкция													
3310	174	20	0,791	0,1	0,1	0,1	$\frac{0,209}{0,209}$	$\frac{0,165}{0,165}$	1,97 1,38	0,197 0,138	$\frac{3,21}{2,25}$	$\frac{0,67}{0,47}$	$\frac{0,0002}{0,0017}$
				0,2	0,2	0,2	$\frac{0,359}{0,359}$	$\frac{0,284}{0,284}$			$\frac{3,34}{2,37}$	$\frac{1,2}{0,85}$	$\frac{0,0192}{0,0398}$
				0,3	0,3	0,3	$\frac{0,509}{0,509}$	$\frac{0,403}{0,403}$			$\frac{3,49}{2,44}$	$\frac{1,78}{1,24}$	$\frac{0,0694}{0,1038}$
<p><b>Примечание.</b> В числителе приведены данные для дорожной одежды с применением геосетки, в знаменателе – для дорожной одежды без использования геосетки.</p>													

Кроме того, на примере конструкции дорожной одежды № 1 был произведен анализ степени влияния каждого в отдельности коэффициента вариации  $C_V^{E_B}$ ,  $C_V^{E_H}$ ,  $C_V^h$  на вероятность нарушения сплошности монолитных слоев при изгибе. Результаты сведены в табл. 4.

На основании определения вероятности нарушения монолитного слоя при изгибе в рассмотренных выше конструкциях дорожных одежд нежесткого типа по предложенной методике [3] можно установить относительное уменьшение риска при использовании геосинтетических материалов (геосетки) в дорожных конструкциях нежесткого типа (табл. 5).

Анализ полученных данных (табл. 3, 4) позволяет сделать следующие выводы:

– значительное увеличение вероятностей нарушения сплошности монолитных слоев ( $r$ ) при изгибе в конструкции дорожной одежды № 1 обуславливается содержанием в ней высокопористого асфальтобетона на битуме БНД-60/90. Как известно, такой асфальтобетон характеризуется значительной остаточной пористостью 10–18%, что в свою очередь оказывает влияние на снижение водостойкости и меньшую плотность высокопористого асфальтобетона в отличие от пористого асфальтобетона. Кроме того, нормативное со-

противление для высокопористого асфальтобетона соответствует 5,65 МПа, что ниже величины 8 МПа, характерной для пористого асфальтобетона. Это отражается на величине предельного сопротивления  $R_N$ . Таким образом, замена слоев из менее качественного асфальтобетона на более прочный (при условии сохранения общей толщины всех слоев асфальтобетона и общей толщины дорожной одежды) приводит к снижению вероятности нарушения сплошности монолитных слоев при изгибе в первые годы эксплуатации автомобильной дороги;

– с увеличением коэффициента вариации общего модуля упругости на поверхности основания ( $C_V^{E_H}$ ), коэффициента вариации среднего модуля упругости слоев асфальтобетона ( $C_V^{E_B}$ ), коэффициента вариации суммарной толщины асфальтобетонных слоев ( $C_V^h$ ) наблюдается значительный рост вероятности нарушения монолитных слоев при изгибе. В случае использования геосетки в конструкции дорожной одежды № 1 (при использовании высокопористого асфальтобетона) риск нарушения монолитных слоев при изгибе превышает величину допустимого риска, равного  $r_{доп}=0,05$  когда  $C_V^{E_B}=C_V^{E_H}=C_V^h=0,21$ , а в конструкции дорожной одежды № 2 (без применения высокопористого асфальтобетона) риск нарушения монолитных

Таблица 4

$E_B$	$E_H$	$h$	$\sigma_r$	$C_V^{E_B}$	$C_V^{E_H}$	$C_V^h$	$C_V^{\sigma_r}$	$m_r$	$R_N$	$m_N$	$\sigma_{KP}$	$m_{KP}$	$r$
1-я конструкция													
2945	174	20	0,765	0,05	0,05	0,3	$\frac{0,304}{0,304}$	$\frac{0,233}{0,233}$	1,17 0,82	0,117 0,082	$\frac{1,98}{1,39}$	$\frac{0,60}{0,42}$	$\frac{0,029}{0,097}$
				0,05	0,3	0,05	$\frac{0,216}{0,216}$	$\frac{0,165}{0,165}$			$\frac{1,91}{1,34}$	$\frac{0,41}{0,29}$	$\frac{0,0048}{0,0427}$
				0,3	0,05	0,05	$\frac{0,20}{0,20}$	$\frac{0,153}{0,153}$			$\frac{1,9}{1,33}$	$\frac{0,38}{0,266}$	$\frac{0,0028}{0,0329}$
<p><b>Примечание.</b> В числителе приведены данные для дорожной одежды с применением геосетки, в знаменателе – для дорожной одежды без использования геосетки.</p>													

Таблица 5

$\frac{r_r}{r_{б/г}}$	$\frac{r_{б/г} - r_r}{r_{б/г}} \cdot 100\%$	Относительное уменьшение риска, %
1-я конструкция		
$\frac{0,0019}{0,0281}$	$\frac{0,0281 - 0,0019}{0,0281} \cdot 100\%$	93%
$\frac{0,0455}{0,121}$	$\frac{0,121 - 0,0455}{0,121} \cdot 100\%$	62%
$\frac{0,1151}{0,164}$	$\frac{0,164 - 0,1151}{0,164} \cdot 100\%$	30%
2-я конструкция		
$\frac{0,0002}{0,0017}$	$\frac{0,0017 - 0,0002}{0,0017} \cdot 100\%$	88%
$\frac{0,0192}{0,0398}$	$\frac{0,0398 - 0,0192}{0,0398} \cdot 100\%$	52%
$\frac{0,0694}{0,1038}$	$\frac{0,1038 - 0,0694}{0,1038} \cdot 100\%$	33%

**Примечание.** В числителе приведены данные для дорожной одежды с применением геосетки, в знаменателе – для дорожной одежды без использования геосетки;  
 $r_r$  – риск нарушения монолитных слоев при изгибе в дорожной одежде с геосеткой;  
 $r_{б/г}$  – то же без геосетки.

слоев при изгибе превышает величину допустимого риска, равного  $r_{доп} = 0,05$  когда  $C_V^{Eb} = C_V^{Eh} = C_V^h = 0,25$ . Без применения геосетки в конструкции дорожной одежды № 1 (при использовании высокопористого асфальтобетона) риск нарушения монолитных слоев при изгибе превышает величину допустимого риска уже при  $C_V^{Eb} = C_V^{Eh} = C_V^h = 0,14$ , а в конструкции дорожной одежды № 2 (без применения высокопористого асфальтобетона) риск нарушения монолитных слоев при изгибе превышает величину допустимого риска при  $C_V^{Eb} = C_V^{Eh} = C_V^h = 0,22$ ;

– увеличение вероятности нарушения монолитных слоев при изгибе в большей степени вызвано ростом коэффициента вариации суммарной толщины асфальтобетонных слоев ( $C_V^h$ ), нежели коэффициента вариации общего модуля упругости на поверхности основания ( $C_V^{Eh}$ ) и коэффициента вариации среднего модуля упругости слоев асфальтобетона ( $C_V^{Eb}$ ). В этом случае использование в конструкции дорожной одежды геосетки сопровождается снижением риска нарушения монолитных слоев при изгибе до допустимых значений;

– использование в конструкции дорожной одежды высокопористого асфальтобетона приводит к увеличению риска нарушения сплошности монолитных слоев при изгибе примерно на 60% на момент пуска автомобильной дороги в эксплуатацию;

– применение в конструкциях дорожных одежд нежесткого типа геоматериалов приводит к снижению вероятности нарушения сплошности монолитного слоя при изгибе на 30–93%.

Анализ рассмотренных конструкций дорожных одежд хорошо иллюстрируют результаты выполненных исследований. Установлено, что от качества выполненных работ, т. е. от значений коэффициентов вариации геометрических и прочностных показателей, в значительной степени зависит вероятность нарушения монолитных слоев при изгибе. Кроме того, математически подтверждено, что использование в дорожной одежде геосетки для армирования асфальтобетонных слоев приводит к снижению величины вероятности нарушения монолитных слоев при изгибе

при одной и той же величине коэффициентов вариации  $C_V^{Eb}$ ,  $C_V^{Eh}$ ,  $C_V^h$ .

Таким образом, использование данной модели позволяет устанавливать и предлагать критерии в соответствии с принципами технического регулирования.

**Ключевые слова:** теория риска, дорожная одежда нежесткого типа, геосетка, вероятность нарушения монолитного слоя при изгибе, толщина слоя, материалы.

**Список литературы**

1. Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог (ОДМ 218.5.001–2009). М.: РОСАВТОДОР, 2010. 85 с.
2. Проектирование нежестких дорожных одежд (ОДН 218.046–01). Гос. служба дор. хоз. Министерства транспорта РФ. М.: Транспорт, 2001. 145 с.
3. *Кокоева Н.Е.* Принципы технического регулирования при проектировании дорожных одежд нежесткого типа с применением геоматериалов (на основе теории риска) // Строит. материалы. 2011. № 1. С. 25–27.
4. *Столяров В.В.* Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска. Части 1,2. Саратов: СГТУ, 1994. 184 с., 232 с.
5. *Кокоева Н.Е.* Оценка качества существующих дорожных одежд нежесткого типа с учетом вариации влажности (с позиции теории риска) // Дорожная держава. 2009. № 19. С. 72–75.
6. *Кокоева Н.Е.* Влияние влажности подстилающего слоя грунта на вероятности нарушения сплошности монолитного слоя при изгибе // Актуальные проблемы эксплуатации транспорта: межвуз. науч. сб. СГТУ. Саратов, 2000. С. 139–144.
7. *Семенов В.А.* Качество и однородность автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1989. 125 с.

С.В. КАРПЕЕВ, руководитель Отраслевого центра внедрения прогрессивных технологий при РОСДОРНИИ, А.В. КОЧЕТКОВ, д-р.техн. наук, ФГУП «РОСДОРНИИ» (Москва); С.М. ЕВТЕЕВА, канд. техн. наук, доцент, Саратовский государственный технический университет

## Вертикальная разметка на металлических барьерных ограждениях с использованием защитных пластиковых панелей

Защитные пластиковые панели предназначены для создания долговременной вертикальной разметки на металлических ограждениях опасных участков автомобильных дорог в соответствии с ГОСТ 52289–04 для конструкций и металлических барьерных ограждений [1, 2]. Панели черного и белого цветов монтируют на лицевую сторону барьерного ограждения.

Технические характеристики: длина панели, белая/черная 2666/1333 мм (соотношение 2:1); ширина 320 мм; толщина 2; 3; 4 мм. Физико-механические характеристики в табл. 1. Температура хрупкости не ниже 130°C. Ударная вязкость: не должна разрушаться при температуре ниже -50°C. Срок службы 7 лет.

Особые требования к физико-механическим свойствам, которыми должен обладать материал панелей, заставили специалистов ФГУП «РОСДОРНИИ» провести разработку модифицированного состава для изготовления панелей на основе полиэтилена и его оптимизации. Основной целью было снижение внутренних напряжений, повышение деформируемости панелей без потери прочности, повышение морозостойкости, а также улучшение реологических и релаксационных характеристик [2].

В качестве основного материала был выбран полиэтилен низкого давления (ПЭНД). Использовали различные методы модификации структуры и свойств полиолефинов соединениями различной природы. В качестве модификаторов испытывали различные сополимеры этилена с другими олефинами, лучшие результаты были получены при введении в полиэтилен сополимера этилена с пропиленом (СЭП-С). Так как защитные пластиковые панели из полиэтилена получают методом экструзии, важно исследование реологических свойств их материала. Исследования выполняли с различными сополимерами этилена в процессе экструзии на экструзиографе фирмы «Brabender» 25-D с четырьмя зонами нагрева-охлаждения.

При одних и тех же условиях испытания величина крутящего момента при переработке модифицированного полиэтилена оказалась ниже, чем при переработке исходного полимера. Это связано с влиянием вязкости са-

мых модификаторов и изменением межмолекулярного взаимодействия и степени ориентации молекул ПЭ в присутствии разветвленных полимеров. Большая эффективность действия наблюдается при введении СЭП-С. Для модифицированного сополимерами ПЭНД снижающего крутящего момента (снижение вязкости расплава) при экструзии приводит к повышению производительности процесса. Определение релаксационных характеристик выполняли при заданном значении деформации – 50%. Установлено увеличение скорости релаксации в случае с ПЭНД, модифицированным СЭП-С (рис. 1).

Сравнительное исследование физико-механических характеристик чистого ПЭНД и модифицированного сополимерами показывает, что прочностные и деформационные характеристики модифицированного ПЭНД значительно возрастают по сравнению с исходными. Следует отметить повышение в 1,7 раза прочности материала при испытании на разрыв (табл. 1).

На рис. 1 приведены данные по изменению скорости релаксации напряжений  $a/a_0$  для чистого ПЭНД и ПЭНД, модифицированного сополимером этилена с пропиленом.

Как видно из графика, скорость релаксации увеличивается на 16,6% при 20°C. Значительное улучшение деформационно-прочностных и релаксационных характеристик связано со структурными изменениями в полимере в присутствии сополимера. Аналогичные результаты были получены исследованием физико-механических и релаксационных свойств при отрицательной температуре.

Исследования релаксационных свойств при -50°C показали увеличение скорости релаксации на 14,5%. Увеличение скорости релаксации, как и относительного удлинения, приводит к уменьшению влияния разности коэффициентов термического расширения между металлом основы для полимерных ограждающих панелей и полиэтиленом. Это приводит к снижению вероятности растрескивания полиэтилена при низкой температуре, что позволяет более эффективно использовать его в зимних условиях.

Таблица 1

Показатель	ПЭНД	ПЭНД + СЭП-С
Модуль упругости, МПа	515,1	789,1
Модуль упругости при 10% деформации, МПа	222,1	274,2
Относительное удлинение при разрыве, %	473	660
Истинное напряжение в точке разрушения, МПа	102	173,4

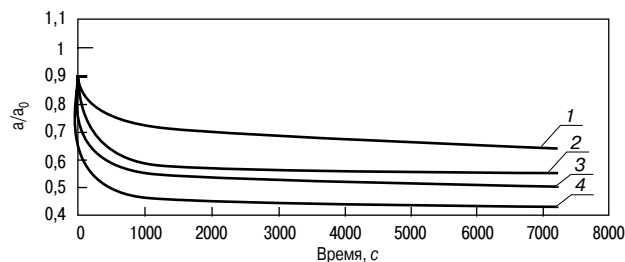


Рис. 1. Изменение скорости релаксации напряжений  $a/a_0$  для чистого ПЭНД и ПЭНД, модифицированного сополимером этилена с пропиленом: 1 – ПЭНД, 20°C; 2 – ПЭНД+СЭП-С – 20°C; 3 – ПЭНД, 100°C; 4 – ПЭНД+СЭП-С 100°C



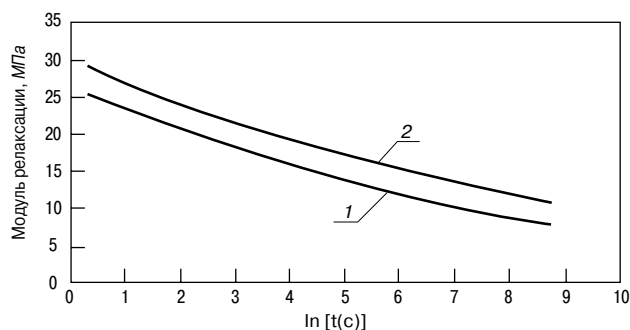


Рис. 2. Прогноз изменения модуля релаксации модифицированного и немодифицированного ПЭНД: 1 – ПЭНД; 2 – ПЭНД+СЭП-С

Значительное улучшение деформационно-прочностных и релаксационных характеристик связано со структурными изменениями в полимере в присутствии сополимера: происходит изменение взаимодействия молекул на межфазной границе и снижение степени кристалличности.

Уменьшение степени кристалличности и рост длины молекул способствуют снижению микрогетерогенности полимерной матрицы за счет выравнивания плотностей аморфной и кристаллической фаз. Наряду с повышением способности противостоять ударным нагрузкам это приводит к увеличению стойкости полимера к медленному распространению микротрещин, что имеет решающее значение для обеспечения длительной прочности панелей при эксплуатации.

Прогноз изменения модуля релаксации модифицированного и немодифицированного ПЭНД представлен на рис. 2. Видно, что модуль релаксации для модифицированного ПЭНД со временем остается выше, что свидетельствует об увеличении срока службы изделий из модифицированного материала.

Релаксационные характеристики рассчитывали по уравнению Кольрауша:

$$E_p = (E_0 - E_x) \exp [-(t/Q)^y] + E_x,$$

где  $t$  – текущее значение времени релаксации;  $E_p$  – условное значение модуля релаксации;  $E_0 = 10^4$  МПа – мгновенный модуль;  $E_x = 0$  – равновесный модуль, модуль бесконечности;  $Q, y$  – параметры уравнения Кольрауша.

Надежность и долговечность изделий наряду с механическими свойствами полимера, условиями и режимами действующих нагрузок в значительной степени определяются величиной остаточных напряжений, возникающих в изделиях в процессе их формирования и эксплуатации. Вследствие больших остаточных напряжений часто наблюдается их растрескивание в условиях воздействия температуры в процессе эксплуатации.

Были проведены исследования изменения внутренних напряжений в полиэтилене в зависимости от модификаторов. Внутренние напряжения измеряли тензометрическим методом с помощью измерителя статических деформаций типа ИСД-3. Тензодатчики приклеивали со стороны полиэтиленовой пластины, предварительно подвергнутой механической обработке на рабочем и контрольном тензодатчиках. Введение сополимеров, особенно сополимера этилена с пропиленом, снизило остаточные напряжения в полиэтилене в 1,5 раза.

Проведенные исследования позволяют сделать заключение о преимуществах модифицированного сополимерами (особенно СЭП-С) ПЭНД, что повысит надежность и долговечность полимерных ограждающих панелей на его основе на весь срок службы защитных пластиковых панелей.

Параллельно была проведена работа по модификации композиции термо- и светостабилизаторами. Модификаторы вводили в композицию в виде суперконцентрата на основе ПЭНД, содержащего 50% стабилизаторов.

В качестве светостабилизаторов использовали синергическую смесь олигомерных пространственно затрудненных аминных светостабилизаторов.

Первый тип стабилизаторов – многоцелевой УФ-стабилизатор, устойчивый к экстракции, не обесцвечивающийся под действием газов, слабо взаимодействующий с пигментами.

Стабилизатор особенно эффективен для лент и толстых слоев ПЭНДП, линейного ПЭНДП, ПЭВДП, а также ПП. Он также является хорошим стабилизатором для толстостенных изделий пищевого и технического назначения. Область его применения включает в себя также олефиновые сополимеры, также смеси полиолефинов с эластомерами.

Авторами установлено, что при эксплуатации в самых жестких условиях будет потеряно 50% вязкости через 3–4 года.

В качестве стабилизаторов термоокислительной деструкции применяли смесь из пространственно затрудненного фенольного антиоксиданта, стабилизирующего полиэтилен в процессе эксплуатации и органофосфита, стабилизирующего полимер в процессе переработки. Пространственно затрудненный фенольный антиоксидант является высокоэффективным неокрашивающим стабилизатором для органических веществ, таких как пластмассы, синтетические волокна, эластомеры, клеи, воски, масла и жиры.

Второй тип стабилизаторов – слаболетучий устойчивый к гидролизу органофосфит. Применяется для защиты органических полимеров, склонных к окислению, особенно в стадии переработки. Оптимум его использования достигается в комбинации с антиоксидантами ряда стабилизаторов (тип-I), которые долговременно защищают полимеры после переработки от термоокислительной деструкции. Добавление применяли для стабилизации полиолефинов, сополимеров этилена, пропилена, бутилена, винилацетата, поликарбонатов, полиамидов.

Результаты стабилизации определяли по изменению индекса расплава полиэтилена после нескольких переработок экструзией. Индекс расплава измеряли при  $t=190^\circ\text{C}$ , массе 10 кг, расходе 10 г/мин. Результаты представлены в табл. 2.

Уже после первой экструзии индекс расплава нестабилизированного полимера падает в два раза по сравнению со стабилизированным, что показывает эффективность стабилизации.

Проведенные исследования позволяют сделать заключение: модифицированный сополимерами (СЭП-С) и стабилизированный ПЭНД обеспечивает требуемые его физико-механические характеристики по надежности и долговечности для изготовления защитных пластиковых панелей.

ГУП «Доринвест» совместно с ФГУП «РОСДОРНИИ» проведен эксперимент по использованию защитных пластиковых панелей для повышения эффективности использования металлических барьерных ограждений и увеличения срока их службы. Первый такой участок был оборудован на Рязанском проспекте Москвы. В процессе эксплуатации защитных пластиковых панелей установлено, что как элемент вертикальной разметки они увеличивают возможность зрительного восприятия барьерного ограждения водителями, эстетичны, не снижают внешний вид при различных погодных условиях; на участке зарегистрировано уменьшение числа дорожно-транспортных происшествий.

Во время эксплуатации опытного участка барьерное ограждение подвергали нормативному содержанию, которое включало ежедневную очистку всего барьерного

**Таблица 2**

Полиэтилен	Индекс расплава после		
	1-й экструзии	2-й экструзии	5-й экструзии
Без стабилизатора	2,7	1,5	0,7
С фенольным антиоксидантом	4,7	4,1	3,4
Со смесью термостабилизаторов	5,2	4,8	4,1

ограждения. Для очистки применяли механизированную щетку с полипропиленовым ворсом, смонтированную на дорожной машине.

При детальном осмотре лицевой стороны пластиковых панелей царапин или затертостей от использования щетки не выявлено. Незначительные загрязнения легко удалялись влажной губкой. Представителем изготовителя было рекомендовано использовать для мытья пластиковых панелей механизированную щетку с капроновым ворсом как наиболее эффективную для мытья пластика. Установлено, что контрастность барьерного ограждения с вертикальной разметкой гораздо выше по сравнению с оцинкованным барьерным ограждением.

Опытно-экспериментальные участки были выполнены на автомобильных дорогах, относящихся к различным органам управления: ГУ «Федеральное управление автомобильных дорог «Северо-Запад» им. Н.В. Смирнова» «СЕВЗАПУПРАВТОДОР»; Управление автомобильной магистрали Москва–Минск; ФГУ «Федеральное управление автомобильных дорог «Урал»; ФГУ «Управление автомобильной магистрали Москва–Санкт-Петербург».

Для получения как можно более точных статистических данных опытно-экспериментальные участки выполняли различной протяженностью. Протяженность участков варьировали от 25 до 200 п. м. Небольшие по протяженности участки были созданы на барьерных ограждениях на мостах и развязках. Более протяженные создавали на барьерных ограждениях, установленных на откосах, прямых участках и участках дороги, изменяющих направление движения. Суммарная протяженность опытно-экспериментальных участков составила 2 тыс. п. м.

Увеличение контрастности элементов обустройства автомобильной дороги, к которым относится и металлическое барьерное ограждение, способствует более раннему его обнаружению участниками дорожного движения. Это оставляет водителю больший интервал времени для принятия и совершения действий при выборе безопасного режима движения автомобиля.

Для выполнения работ по нанесению вертикальной разметки на некоторых участках привлекали дорожных рабочих из эксплуатирующих организаций. Обучение и вводный инструктаж в среднем занимали 20–30 мин. Специальных навыков, квалификации, машин или механизмов для выполнения работ не требовалось. Простота нанесения вертикальной разметки по новой технологии позволит применить ее в различных регионах страны без необходимости создания специальных монтажных организаций и проведения обучающих тренингов. Выполненные опытные работы показали отсутствие необходимости в приобретении дополнительного монтажного оборудования.

В ходе выполнения работ подтвердилось предположение, что все монтажные действия по нанесению вертикальной разметки можно выполнять без частичной или полной разборки барьерного ограждения. Времени, затрачиваемого на монтаж панелей, требуется значительно меньше, чем для нанесения лакокрасочного покрытия на ту же площадь поверхности.

Перед началом монтажных работ по нанесению защитных пластиковых панелей, одновременно являющихся вертикальной разметкой барьерного ограждения, в обязательном порядке демонтировали светоотражающие элементы. По завершении монтажных работ все кафоты устанавливали в штатные места с использованием стандартных болтовых соединений. Новый метод нанесения вертикальной разметки за счет применения панелей не препятствует эксплуатации светоотражающих элементов и позволяет продолжить использовать их до применения новой технологии.

При выполнении опытно-экспериментальных работ по нанесению вертикальной разметки были зафиксиро-

ваны на фотоноситель опытные участки до начала проведения работ и после их окончания. Основным выводом первичных наблюдений является значительное улучшение контрастности опытных участков.

Проведением систематических наблюдений за экспериментальными участками отрицательных явлений не обнаружено.

Отдельные элементы пластиковых панелей, подвергшихся ударному воздействию в результате демонстрационного дорожно-транспортного происшествия, сохранили первоначальную прочность крепления. Произошедшее на экспериментальном участке ДТП на практике подтвердило правильность заложенных физико-механических свойств разработанного материала для панелей и их соответствие техническим нормам.

За время, прошедшее с момента изготовления и установки панелей на барьерное ограждение, в материале прошли все возможные реологические процессы, в ходе которых структура пластмассы не изменилась, а геометрические, физические и прочностные параметры сохранились. Данные свойства пластмассы были заложены в процессе разработки материала для изготовления панелей.

При детальном осмотре отдельных пластиковых панелей, установленных на различных участках автомобильных дорог, сколов или трещин обнаружено не было. Это свидетельствует о том, что температурные перепады в дневное и ночное время суток и связанные с этим линейные расширения металла не отразились как на целостности панелей, так и на отдельных участках.

Общий вид панелей в сравнении с первоначальным состоянием не изменился. Степень белизны соответствует уровню белизны эталонного образца и требованию ГОСТ 13508. Эффект разметки, заключающийся в чередующихся линиях черного и белого цветов, сохранился.

От применения новой технологии в экспериментальных условиях достигнута значительная экономия финансовых средств. Когда стоит выбор между заменой ограждения по причине коррозии или использованием старого барьерного ограждения, но с применением новой технологии нанесения вертикальной разметки, более экономически целесообразным оказывается последний вариант. При сравнительном анализе финансовой составляющей с учетом затрат на монтажные и демонтажные работы по замене металлического ограждения экономия может составлять 1–1,5 млн р. на 1 км ограждения.

В ходе наблюдений и сопоставления данных по участкам с вертикальной разметкой, созданной с применением лакокрасочных покрытий, и в сравнении с новой технологией, участвующими в эксперименте, представителями управлений автомобильных дорог отмечалось, что лакокрасочные покрытия недолговечны и уже через 1–2 мес требуют обновления из-за повторного появления коррозии. Также лакокрасочные покрытия плохо подходят и под условия механизированного содержания барьерного ограждения. Это связано с особыми условиями эксплуатации на автомобильных дорогах, вызванных постоянным ударным воздействием на покрытие ограждения мелких каменных частиц, выле-



Рис. 3. Вид барьерного ограждения до (а) и после (б) применения вертикальной разметки

тающих с большей скоростью из-под колес проходящего вблизи ограждений автотранспорта.

Ситуация ухудшается в зимние месяцы, когда используют пескораспределители для борьбы с зимней скользкостью и патрульной уборкой снега. Быстро вращающийся диск распределителя песчано-соляной смеси придает значительное угловое ускорение ее частицам. Мелкие и более крупные камни, всегда присутствующие в песчаной смеси, так же как и камни из-под колес автотранспорта, постоянно бомбардируют металлическое ограждение. При попадании твердых частиц в лакокрасочное покрытие ограждения происходит образование микротрещин, в которые попадает влага, и начинается необратимый в условиях эксплуатации процесс коррозии на плохо защищенной поверхности металла, который в дорожных условиях протекает чрезвычайно быстро.

Плохая адгезия лакокрасочного покрытия к оцинкованному или грунтованному металлу не позволяет использовать механизированную уборку для содержания металлических ограждений и удаления загрязнений с их лицевой стороны. При использовании дорожных машин с боковыми щетками происходит отшелушивание лакокрасочного покрытия от металла уже через 5–6 случаев применения. При регулярном применении дорожных машин наблюдается эффект удаления поверхностного слоя цинка с оцинкованных ограждений или образование темных затертых пятен. Особенно показателен в этом плане опыт содержания металлического барьерного ограждения на Московской кольцевой дороге.

Возможность эффективного использования механизированной уборки ограждений с вертикальной разметки, нанесенной с применением пластиковых панелей, была успешно апробирована специалистами ФГУП «РОСДОРНИИ» в ходе испытаний, прошедших в Москве, когда барьерное ограждение с вертикальной разметкой из защитных пластиковых панелей подвергали ежедневной механизированной очистке с применением боковой полипропиленовой щетки. В процессе наблюдений негативного воздействия на пластиковые панели не выявлено.

По результатам испытаний сделаны выводы:

- защитные пластиковые панели, установленные на металлическом ограждении, значительно улучшают контрастность ограждения по сравнению с оцинкованным, что повышает уровень зрительного восприятия участниками дорожного движения;
- в процессе воздействия автотранспорта на металлическое ограждение с вертикальной разметкой, выполненной с применением защитных пластиковых панелей, не происходит их разрушения с образованием осколков, а также сохраняется общая целостность;
- по характеру повреждений пластиковых панелей можно предположить, что при ударе часть кинетической энергии испытаний на автобусе поглощается пластиковыми панелями, что может служить фактором увеличения удерживающей способности дорожного ограждения;

Стоимость 1 км пластиковых панелей для применения на металлических барьерных ограждениях 480 тыс. р. (стоимость панелей 450 тыс. р., монтажа – 30 тыс. р.). Ожидаемый эффект за счет применения пластиковых панелей для вертикальной разметки – 204 тыс. 845 р./год. Окупаемость – 1,5 года.

**Ключевые слова:** барьерное ограждение, вертикальная разметка, полиэтилен низкого давления, контрастность дорожной разметки.

#### Список литературы

1. Карпеев С.В., Сапсаенко Д.Б., Чванов А.В., Кочетков А.В. Относительные методы определения параметров качества дорожных материалов // Строит. материалы. 2009. № 5. С. 6–9.
2. Карпеев С.В., Сухов А.А., Аржанухина С.П., Кокодева Н.Е. Методика оценки экономической эффективности деятельности органов управлений дорожным хозяйством по освоению новых технологий, техники и материалов // Строит. материалы. 2010. № 5. С. 4–7.

П.Б. РАПОПОРТ, канд. техн. наук, Н.В. РАПОПОРТ, канд. техн. наук, ООО Центр дорожных технологий «Дорэксперт» (Новосибирск); А.В. КОЧЕТКОВ, д-р техн. наук, ФГУП «РОСДОРНИИ» (Москва); Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ, канд. техн. наук, В.В. КАМЕНЕВ, инженер (admin@rukamen.ru), Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет МАДИ (Москва)

## Проблемы долговечности цементных бетонов

В последние 30–40 лет проблема долговечности цементных бетонов стала весьма актуальной. Обеспечение долговечности бетонов, предназначенных для использования при строительстве долговременных сооружений (тоннели, мосты, различного типа подземные сооружения, метрополитены, цементобетонные покрытия автомобильных дорог и т. п.) стало основной проблемой, решаемой при проектировании и строительстве.

Вызывает интерес состояние бетона в сооружениях, построенных в различное время. Прочность бетона авторами рассматривается как один из параметров долговечности.

В 1989 г. проведено обследование с целью оценки состояния бетона в трех корпусах Узбекского бумажного комбината, построенных в 1907, 1938 и 1958 гг. Прочность бетона в конструкциях корпуса, построенного в 1907 г., на момент обследования составляла 60–65 МПа, корпуса 1938 г. – 45–50 МПа, а корпуса 1958 г. постройки (картоноделательный цех) всего 11–18 МПа.

Цементобетонное покрытие автомобильной дороги Ташкент–Самарканд на отдельных участках начали перекрывать асфальтобетоном из-за разрушения поверхностного слоя и появления сквозных трещин уже через 5–6 лет эксплуатации. Прочность бетона на отдельных участках покрытия после 11 лет эксплуатации составляла 80–85% проектного значения [1, 2].

Также были обследованы бетоны сборных конструкций (плит перекрытия, балконных плит, лестничных маршей и т. п.) 27 зданий, эксплуатировавшихся в течение 1–5 лет или строящихся. Выявлено, что прочность бетона в 10% случаев составляла до 90% проектного значения, в 15% случаев – 95% (в том числе и 5-летнего возраста). Только в 70% случаев прочность бетона конструкций различных возрастов равнялась или превышала проектное значение, хотя по документации бетон при отгрузке конструкций с заводов имел 70–90% проектной прочности. Обследование бетона монолитных участков в этих же зданиях выявило, что в 60% случаев прочность бетона была меньше проектного значения.

В бетонных отделах многих транспортных тоннелей, эксплуатируемых 30–40 лет, из-за снижения качественных показателей бетона наблюдается интенсивное дефектообразование в виде трещин, отслоений, вывалов. Это вызывает необходимость отвлечения значительных трудовых и финансовых ресурсов на проведе-

ние ремонта и реконструкции в сумме затрат, сопоставимых со стоимостью капитального строительства.

В технической литературе широко представлены многочисленные случаи преждевременного разрушения по различным причинам бетонов в сооружениях, как правило, построенных в течение последних 30–40 лет.

Например, в результате обследования 3948 плотин в США установлено, что 988 из них находятся в опасном состоянии, а 58 требуют срочного ремонта [3]. Скорость разрушения железобетонных мостов на 50% превышала скорость разрушения прочих сооружений.

В настоящее время скорость разрушения бетонных сооружений выше, чем в прошлом [3]. Причем в числе этих бетонов как естественного твердения (монолитных), так и пропаренных (конструкции заводского изготовления) все чаще фиксируют случаи отсутствия прироста прочности бетона во времени, иногда и в условиях благоприятных для твердения бетона и при отсутствии агрессивных в общепринятом смысле сред.

Многочисленность вышеперечисленных фактов заставляет предполагать наличие общей причины снижения долговечности цементных бетонов за последние 40 лет.

Долговечность бетонов для строительства долговременных сооружений стала основной проблемой, решаемой при проектировании и строительстве.

Объяснять многочисленные случаи преждевременного разрушения и выхода из строя строительных конструкций и сооружений из бетона и железобетона за долго до истечения надлежащего срока их службы несоблюдением существующих требований, направленных на обеспечение долговечности при проектировании, строительстве и эксплуатации, не вполне корректно. По-видимому, чаще всего они предопределяются несовершенством этих требований и недостаточной изученностью проблемы долговечности бетонов.

В свете этого представляют определенный интерес данные по изменению во времени свойств бетонов, полученные исследователями в различных странах.

Так, опубликованы [4] обобщенные результаты определения кинетики изменения прочности бетонов, приготовленных в различные периоды (табл. 1).

Американскими учеными в 1910–1930 гг. установлено, что в течение 20 лет прочность бетонов увеличивается в 2,5–3 раза.

Таблица 1

Год приготовления бетона	Прочность при сжатии, МПа, через				
	1 месяц	1 год	5 лет	10 лет	30 лет
1910	135	24/1,77	30/2,22	38,5/2,84	44/3,35
1923	210	29/1,36	43,5/2,07	46,5/2,22	–
1937	360	47/1,3	53,5/1,48	–	–

**Примечание.** За чертой приведено увеличение прочности бетона относительно его прочности в возрасте 1 мес.

Таблица 2

Автор	Значение относительной прочности бетона ( $R_t/R_{28}$ ) в возрасте									
	28 сут	3 мес	6 мес	1 год	2 года	4 года	5 лет	6 лет	9 лет	11 лет
Бах	1	–	–	2,1	2,5	–	2,85	–	2,93	
Залигер	1	1,25	1,5	1,75	2	–	2,25	–	–	–
Уизей	1	–	–	1,64	1,64	–	2,07			
Граф	1	–	–	1,41	1,56	1,65	–	1,71	–	1,88

Исследователями были получены характерные данные по изменению прочности бетона во времени (табл. 2).

Анализ данных, представленных в табл. 1 и 2, показывает, что прирост прочности бетона во времени становится проблематичным. Сопоставление результатов исследований изменения прочности бетонов во времени, включая результаты, полученные учеными в наше время, приводит к следующему заключению.

Первыми (1930-е гг.) исследованиями было установлено, что прочность увеличивается вдвое за первые 5 лет и прирост наблюдается в течение более 20 лет. Исследования (1940–1950 гг.) показали, что прочность увеличивается в 2 раза за первые 10 лет и прирост прочности наблюдается в течение первых 15 лет.

Исследованиями, проведенными в 1960-х гг., выявлено, что прочность в 2 раза не увеличивается совсем и прирост прочности наблюдается в течение примерно 10 лет.

Современные исследования, проведенные в различных странах, в том числе и в России, показали, что некоторые виды бетона, например пропаренные, дают прирост прочности только в течение года. У остальных бетонов наблюдается прирост прочности только в течение первых 5 лет. Все чаще фиксируются случаи снижения прочности бетонов во времени.

На процесс твердения бетона оказывают значительное влияние условия твердения. Характерные данные по изменению прочности бетона в зависимости от условий твердения приводит В. Столяр (табл. 3), что согласуется со значениями, приведенными выше.

Данные в табл. 3 показывают, что условия твердения действительно влияют на кинетику роста прочности во времени. При этом необходимо отметить, что даже при влажном хранении прочность бетона в 2 раза увеличилась только через 11 лет, а при 7 сут влажного хранения наблюдается спад прочности в возрасте 19 лет. При сухих условиях хранения, по данным О. Графа, прирост прочности наблюдается только в первый год, в последующем возможен спад. Установлено, что после 3 мес сухого хранения прирост прочности прекращается.

Зависимость долговременной прочности бетона от условий твердения явилась одной из причин, по кото-

рой С.В. Шестоперов предложил ввести понятие комплексной марки бетона [5].

Установлено, что прочность при растяжении увеличивается только в течение первого года, потом имеет место спад, и по истечении 20 лет она составляет 65–70% прочности бетона в возрасте 28 сут. При этом меняется соотношение между прочностью бетона при растяжении и при сжатии. По мнению Залигера, прочность при растяжении зрелых бетонов составляет 1/6–1/24 прочности этих же бетонов при сжатии.

Для выяснения причин изменения кинетики роста прочности бетона во времени рассмотрим ряд других показателей свойств бетона или его составляющих.

По данным И.М. Френкеля [6], цементы с тонким помолом дают более быстрое нарастание прочности в первые дни твердения, чем размолотые более грубо. Шестоперов [5] считал, что бетоны на домолотых цементах отличаются пониженной морозостойкостью, и предлагал ввести нормирование гранулометрического состава цементов.

В 1930-е гг. отмечалось, что в бетоне после 15 лет твердения на воздухе содержится до 40% негидратированных реликтов, а в твердевшем во влажной среде количество реликтов составляет 25%.

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

Такое разногласие связано с изменением дисперсности, минералогического состава и активности цементов за этот период. Исследованиями доказано, что наличие реликтов не дает гарантии дальнейшего упрочнения цементных бетонов, а активность цемента может быть связана с тонкостью помола цемента.

Как известно, минералогический состав цемента предопределяет его поведение при дальнейшем твердении в составе бетона. Работами Юнга, Бутта, Андерегга, Губеля, Богга, Лерча, Кинда, К.Д. Некрасова, С.А. Окоорокова и других ученых доказано, что процесс гидрата-

Таблица 3

Возраст бетона	Прочность бетона при В/Ц, МПа, при твердении в условиях хранения, МПа			
	В/Ц = 0,67		В/Ц = 0,89	
	11 лет влажного	7 сут влажного	11 лет влажного	7 сут влажного
28 сут	23,9	25,5	15,8	16
3 мес	29,1/1,22	29,5/1,16	21,5/1,36	22,3/1,39
1 год	31,9/1,33	33,8/1,32	24,8/1,57	24,8/1,55
2 года	35,7/1,49	34,4/1,35	–	–
4 года	37,4/1,56	34,4/1,35	27,4/1,73	24,1/1,51
6 лет	40,2/1,68	34,2/1,34	–	–
11 лет	47,2/1,97	36,3/1,42	33,1/2,09	25,2/1,58
19 лет	45,5/1,9	34,4/1,35	–	–

Примечание. За чертой приведено увеличение прочности бетона относительно его прочности в возрасте 28 сут.



Таблица 4

Составляющие клинкера	Содержание в цементе составляющих клинкера, %, по странам					
	1900–1910	Англия	США	Дания		
		1950–1960	1950–1960	1956	1958	1978
C <sub>3</sub> S	25	32–53	33–50	46	50–60	55–60
C <sub>2</sub> S	45	15–48	22–36	31	20–28	18–22
C <sub>3</sub> A	17	7–15	8–14	10	8–10	8–9
C <sub>4</sub> AF	13	7–11	7–9	6	5–7	8–9

**Примечание.** В России в 1962 г. содержание в цементах C<sub>3</sub>S составило 60–65%; C<sub>2</sub>S – 11–26%; C<sub>3</sub>A – 9–12%; C<sub>4</sub>AF – 9–15% [7].

ции минералов цементного клинкера во времени протекает неравномерно. К 28 сут степень гидратации C<sub>3</sub>S составляет 69–87%; C<sub>3</sub>A – 84–100%; C<sub>4</sub>AF – 81–95%, а C<sub>2</sub>S всего 11–28%. Поэтому можно предполагать, что последующий рост прочности бетона связан с продолжающейся гидратацией C<sub>2</sub>S, а прочность в возрасте 28 сут предопределяется в основном гидратацией C<sub>3</sub>S.

Следовательно, соотношение прочности в возрасте 28 сут и в более поздние сроки будет предопределяться соотношением этих двух минералов. Представляет интерес изменение минералогического состава и тонкости помола цемента за период 1900–1978 гг. в различных странах [7].

Анализ данных (табл. 3, 4) показывает, что за рассматриваемый период на фоне резкого увеличения тонкости помола изменился минералогический состав в сторону увеличения содержания в цементах C<sub>3</sub>S за счет уменьшения C<sub>2</sub>S. Возможно, это явилось одной из причин уменьшения долговременной прочности или снижения темпов ее роста во времени. В табл. 4 представлен анализ изменения состава цемента за 10 лет в различных странах. В табл. 5 приведены данные по изменению тонкости помола цемента, см<sup>2</sup>/г.

Необходимо отметить, что повсеместно получили широкое применение различные методы интенсификации твердения бетонов (тепловой, ТВО, добавки-ускорители твердения цемента и т. п.).

В многочисленных публикациях, посвященных изучению свойств пропаренных бетонов, отмечается, что такие бетоны отличаются отсутствием или снижением темпа роста прочности во времени. Имеет место «огрубление» новообразований, что препятствует «самозалечиванию» бетона или цементного камня. Фиксируется увеличенное количество микродефектов в бетонах. Количество непрогидратировавших реликтов в цементном камне таких бетонов со временем не уменьшается.

С учетом результатов исследований авторов можно утверждать, что большая часть исследований и изменений технологий производства цемента, бетонов и конструкций на основе цементных бетонов за период с 30-х гг. прошлого века была нацелена на увеличение прочности бетонов в раннем возрасте.

Реализация большей части таких методов сопровождалась снижением темпов роста прочности бетона в последующем возрасте [8]. Чем больше увеличение прочности в раннем возрасте, тем больше снижение темпа ее роста в последующем. Очевидно, что существует предел прочности в раннем возрасте, превышение которого приводит к спаду прочности бетона в последующем.

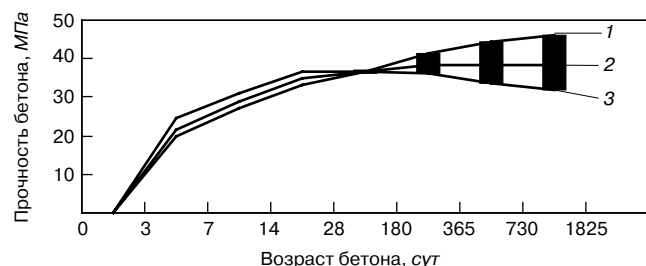
В качестве доказательства наличия подобного типа негативных эффектов может быть приведено изменение кинетики роста прочности бетона во времени при изменении режимов тепловлажностной обработки бетонов одинакового состава, приведенное на рисунке. При этом время предварительной выдержки, скорости подъема и спада температуры оставалось неизменным. Бетоны были приготовлены на порландцементе нормированного минералогического состава (содержание алюмината кальция не более 8%) с дисперсностью 3480 см<sup>2</sup>/г, активностью (марки) 500.

Анализ данных, представленных на рисунке, показывает, что имеет место изменение темпа роста прочности бетона во времени. Пропарка при 85–90°C практически привела к прекращению роста прочности бетона во времени, а при температуре пропарки, близкой к 100°C, имеет место спад прочности в зрелом возрасте.

Необходимо отметить, что изменение темпа роста прочности бетона во времени сопровождается, как правило, изменением взаимосвязи прочности с другими свойствами (прочностью при растяжении, уровнем микротрещинообразования, модулем упругости и т. п.) и соответственно изменением морозо-, водо-, атмосферостойкости бетонов, а также долговечности их в составе конструкций и сооружений [8].

Последнее является одной из причин многочисленных попыток корректирования полученных ранее зависимостей, которые не коррелируют со свойствами современных бетонов.

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



Изменение темпа роста прочности бетона во времени; кинетика роста прочности бетонов пропаренных при: 1 – 75°C; 2 – 85–90°C; 3 – 95–98°C

Таблица 5

Период, гг.	Портландцемент		
	Обычный	Быстро-твердеющий	Очень быстро-твердеющий
До 1930	2000	–	–
До 1950	2000–2500	–	–
1950	2800	3400	5400
1982	3800	3800	Производство прекращено

Основные выводы и предложения:

1. Снижение долговечности цементных бетонов характерно для бетонов, приготовленных и использованных для строительства в течение последних 30–35 лет.
2. Современные бетоны существенно отличаются от прежних, особенно, пониженной стойкостью к воздействию различных агрессивных по отношению к бетону сред и снижением темпа роста прочности бетона во времени.
3. Отсутствие или снижение темпа роста прочности и стойкости современных бетонов в условиях воздействия любых сред, отличных от нормальных, должно учитываться при проектировании бетонов, а также конструкций и сооружений на основе этих бетонов.
4. Необходимо ввести понятие комплексной марки или класса бетона, которая должна учитывать:
  - основные свойства бетона, являющиеся определяющими с точки зрения эксплуатации конструкции или сооружения на основе проектируемого бетона (водонепроницаемость, морозостойкость, стойкость в условиях воздействия конкретных сред, модуль упругости, стабильность свойств бетона во времени и т. п.);
  - условия эксплуатации проектируемого бетона (возможно, с разбивкой на категории);
  - долговечность проектируемого бетона в конкретных условиях (возможно, с разбивкой по группам долговечности);
  - перечень цементов с учетом условий эксплуатации, которые могут быть использованы для приготовления бетона, включая ограничения по дисперсности или гранулометрическому составу цемента, минералогическому составу и т. п.

**Ключевые слова:** бетон, долговечность, показатели, прочность, долговечность.

#### Список литературы

1. Селимов М.М., Липский В.Я., Болдов В.И. Изменчивость прочности цементобетона в покрытиях автомобильных дорог Узбекской ССР за 10 лет службы // Строительство и архитектура Узбекистана. 1976. № 11. С. 8–11.
2. Селимов М.М., Липский В.Я., Краснознаменская Р., Алимов А. Динамика изменения свойств бетона монолитных конструкций в процессе службы // Строительство и архитектура Узбекистана. 1983. № 6. С. 31–33.
3. Zito F. La drabilità del calcestruzzo la tecnica professionale. Collegio inqeqheri ferroviari italiani, 1983. Pp. 636–643.
4. Hajnal-Konyi K. Concrete. New Ways of Building. London, 1951. P. 19.
5. Шестоперов С.В. Контроль качества бетона транспортных сооружений. М.: Транспорт, 1975. 245 с.
6. Френкель И.М. Технология пластичности бетона. М.: Стройиздат, 1922. С. 74.
7. Idorn G.M. Cognate energy and Durability // Cognate International Design Construction. USA. 1984. Pp. 13–20.
8. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В. Оценка и прогнозирование состояния бетона конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия климата // Сб. науч. тр. СГУПС «Обеспечение надежности объектов транспорта при проектировании и эксплуатации». Новосибирск, 1999. С. 122–127.

Реклама

## «Холдинговая компания «Регионтрансстрой»

организует поставку высококачественных нерудных строительных материалов

- щебень габбро-диабаз
- известняк
- гранит
- гранитная крошка
- песок мытый и сеяный

для изготовления высококачественных бетонных и асфальтобетонных смесей.

*Гарантированные своевременные поставки из базовых карьеров в любых объемах железнодорожным, речным и автомобильным транспортом по выгодным ценам.*

**Дополнительный входной контроль каждой партии в независимой аккредитованной лаборатории на кафедре дорожно-строительных материалов МАДИ за счет «ХК «Регионтрансстрой».**

**Москва, Левобережная ул., д. 12. E-mail: info@hkrts.ru, тел.: (495) 4581632**

К.В. БЕЛЯЕВ, канд. техн. наук, Ю.В. МАКАРЕНКОВА, инженер,  
Д.В. ОРЕШКИН, д-р техн. наук, Московский государственный строительный университет

## Моделирование и разработка оптимальной структуры сверхлегкого цементного раствора

Известно, что средняя плотность сверхлегких цементных растворов снижается за счет уменьшения расхода воды при их плотности менее  $1000 \text{ кг/м}^3$  при одинаковой подвижности смеси [1, 2]. При этом снижаются объем и толщины прослоек цементной матрицы между частицами наполнителя, а значит, и средняя плотность раствора. В объеме цементной матрицы размещается больше, например, полых стеклянных микросфер, средняя плотность которых в 4 раза меньше, чем у воды [1, 2].

Строительные растворы используются для кладки стен, штукатурки, ремонтных и реставрационных работ. К ним предъявляются требования по средней плотности, прочности при сжатии, сцеплении, морозостойкости, водоудерживающей способности. Для получения максимальной однородности ограждающей конструкции из облегченных блоков на кладочном растворе требуется равенство средней плотности блоков и раствора [2, 3]. Тампонажный раствор предназначен для крепления, гидроизоляции скважин, шахтных стволов и туннелей путем разобщения, закрытия водоносных пластов, трещин и пустот в горных породах и заполнения закрепленного пространства. К нему предъявляются требования по растекаемости для его закачивания в затрубное и межтрубное пространство, заполнения всех пустот. Прочность камня на изгиб должна быть не ниже 1 МПа в возрасте 2 сут и камень должен хорошо задерживать тепло, чтобы исключить растрескивание многолетнемерзлых пород. Раствор должен иметь низкую среднюю плотность, чтобы исключить его поглощение водяными пластами. Практика освоения скважин показывает, что для этого плотность раствора должна быть ниже  $1000 \text{ кг/м}^3$ . При закачке в скважину раствор должен быть однородным и не расслаиваться.

Очевидно, что свойства любого материала будут зависеть от его структуры [4]. Для достижения снижения средней плотности цементных растворов было предложено несколько решений: использование облегчающих заполнителей (шлака, керамзита, резиновой крошки, вспученных перлитового и вермикулитового песков, фильтроперлита и др). Однако они обладают большой водопотребностью, что не позволяет получить растворы средней плотностью менее  $1300 \text{ кг/м}^3$  из-за их расслоения. Были разработаны аэрированные растворы. Однако воздушные поры в кладке и скважине схлопываются при небольших нагрузках; было предложено использовать в качестве облегчающего наполнителя в растворы полые полимерные, алюмосиликатные, зольные и стеклянные микросферы, которые имеют стенку толщиной в несколько микрон.

Наиболее хорошо зарекомендовали себя полые стеклянные микросферы (ПСМС) размером около  $20\text{--}30 \text{ мкм}$  и толщиной стенки  $1\text{--}3 \text{ мкм}$ . Истинная плотность ПСМС  $200\text{--}300 \text{ кг/м}^3$ . Удалось получить строительные и тампонажные растворы плотностью менее  $700\text{--}800 \text{ кг/м}^3$ , прочностью камня на изгиб  $1,6\text{--}1,75 \text{ МПа}$ , при сжатии  $3,2\text{--}4,3 \text{ МПа}$ , теплопроводностью во влажном состоянии от  $0,165$  до  $0,17 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$  [1, 2]. Микроструктура цементного камня с ПСМС приведена на рис. 1.

Однако структура такого материала не является оптимальной. Она сможет быть таковой, когда микросферы в камне будут иметь максимально плотную упаковку, а цементный камень будет скрепляющей прослойкой между ними. Цементные частицы при этом должны иметь размеры, например, как у микродура (рис. 2, 3, 4). Такая структура обеспечит низкую среднюю плотность материала.

Была предпринята попытка смоделировать структуру облегченного раствора. Так, при одном размере микросфер максимально плотная упаковка будет называться гексагональной и коэффициент заполнения объема микросферами составит всего  $74,05\%$  (рис. 5) [5, 6].

Из расчетов следует, что чем больше типоразмеров микросфер мы применяем для заполнения объема, тем плотнее его заполнение. Если мы вместо одного типоразмера возьмем два, то заполнение объема увеличится на  $5\%$  (с  $74$  до  $79\%$ ). Если добавим микросфер еще меньшего диаметра, заполнение объема составит уже  $81\%$  и т. д. (табл. 1) [5].

Таким образом, для дальнейшего уменьшения средней плотности и теплопроводности цементного раствора необходимо разделять микросферы на фракции по размерам. Это весьма дорогостоящая операция. Максимальное снижение средней плотности может понадобиться при ремонтных и реставрационных работах. Применение тампонажного раствора оптимальной структуры позволит вести добычу нефти и газа из самых труднодоступных месторождений, где при использовании других материалов для крепления скважины это будет невозможно. Такие материалы востребованы при ликвидации скважин, например, в условиях проявления сероводорода.

Но фракционирование полых стеклянных микросфер не даст существенных результатов, если будет применяться обычный портландцемент. Такой цемент имеет удельную поверхность  $3000\text{--}3500 \text{ см}^2/\text{г}$  и средний размер частиц  $35\text{--}40 \text{ мкм}$ . Размер его частиц не позволит получить плотную структуру цементной матрицы между микросферами: частицы цемента просто не поместятся

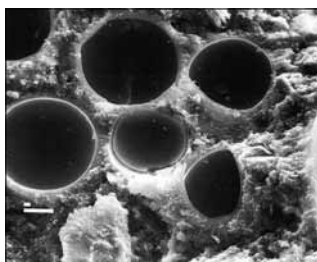


Рис. 1. Микроструктура цементного камня с ПСМС. CAMEBAH

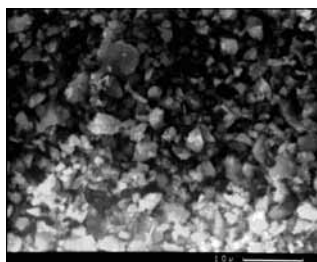


Рис. 2. Порошок микродура. Участок 1. CAMSKAN

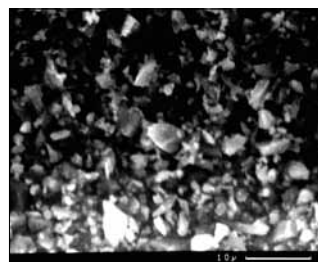


Рис. 3. Порошок микродура. Участок 2. CAMSKAN

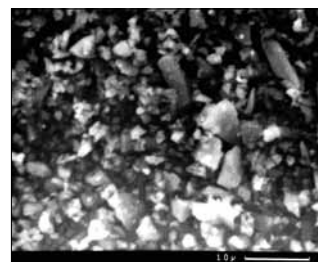


Рис. 4. Порошок микродура. Участок 3. CAMSKAN

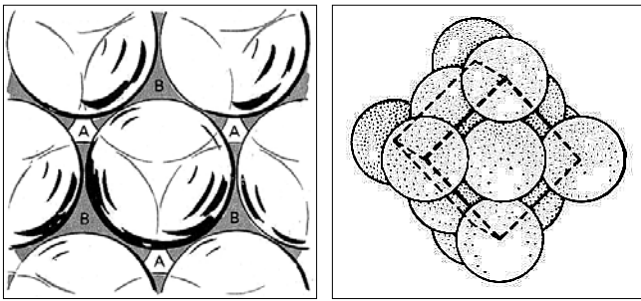


Рис. 5. Гексагональная упаковка частиц одного диаметра

между ними. Для получения плотной поризованной полимы микросферами структуры цементного камня предлагается использовать ультрадисперсный микродур.

Микродур – это особо тонкодисперсное вяжущее (ОТДВ) с подобранным гранулометрическим составом. Микродур получается при воздушной сепарации пыли при помоле клинкера и является гидравлическим вяжущим веществом. Его водоудерживающая способность до В/Ц = 6.

Были выполнены его микроструктурный, гранулометрический, вещественный и химический анализы. Использовался микродур «AR-U» фирмы Dycerhoff (Германия). Для обеспечения правильности идентификации микроструктурных, рентгенофазовых исследований был проведен микроструктурный и химический анализ микродура (рис. 2–4) (табл. 2).

Рентгенограмма порошка микродура представлена на рис. 6.

Был проанализирован участок 3, представленный на рис. 4. На этом рисунке видны три остроугольных кристалла (чуть правее центра фотографии). Их химический анализ приводится в табл. 3.

Были также изучены другие виды кристаллов – белый округлый в левом углу (табл. 4) и один из остроугольных в центре рис. 5 (табл. 5).

Установлено, что вещественный состав микродура представлен микрокремнеземом 15–20%; гипсом 3–4%; каустическим магнезитом или периклазом 4–9% и клинкером тонкомолотого тампонажного портландцемента. Микродур состоит из минералов: алита 37–56%; гипса 3–4%; каустического магнезита 4–9%; микрокремнезема до 20% и 3СаО·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10–11%. Проведен также гранулометрический анализ микродура. Определены размеры его частиц и их процентное содержание. Частиц с размерами от 0 до 1 мкм было 73–80%; частиц с размерами 1–5 мкм 10–15%; 5–10 мкм – 10–12%; до 10–15 мкм остальное. Удельная поверхность микродура составила 16200 см<sup>2</sup>/г. Было выявлено большое содержание аморфной фазы – до 74%. Это связано с наличием в его составе аморфного микрокремнезема и ультрамелких частиц микродура. При таких условиях значительно повышается активность вяжущего и его водоудерживающая способность. Однако выявлено высокое содержа-

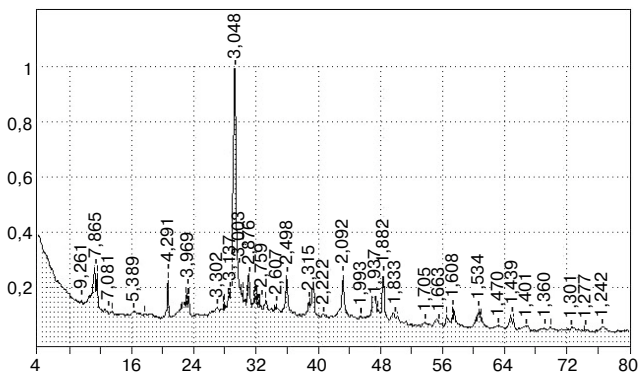


Рис. 6. Рентгенограмма порошка микродура

Таблица 1

Расчет модели идеального пористого тела

Диаметр	Количество микросфер в ячейке, шт.	Заполнение объема, %
D	1	74,05
0,414 D	1	79,3
0,225 D	2	80,99
0,155 D	8	85,12
0,12 D	8	87,02

Таблица 2

Оксид	Содержание, %
Na <sub>2</sub> O	0,5
MgO	4,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,03
K <sub>2</sub> O	0,98
SiO <sub>2</sub>	30,03
SO <sub>3</sub>	3,1
CaO	51,8
FeO	0,72

Таблица 3

Оксид	Содержание, %
Na <sub>2</sub> O	1,13
MgO	7,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,39
K <sub>2</sub> O	0,571
SiO <sub>2</sub>	36,15
SO <sub>3</sub>	3,27
CaO	38,7
FeO	0,167

Таблица 4

Оксид	Содержание, %
Na <sub>2</sub> O	0,27
MgO	8,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,56
K <sub>2</sub> O	0,5
SiO <sub>2</sub>	37,25
SO <sub>3</sub>	4,41
CaO	36,32
FeO	0,17

Таблица 5

Оксид	Содержание, %
Na <sub>2</sub> O	0,78
MgO	7,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,39
K <sub>2</sub> O	0,81
SiO <sub>2</sub>	36,8
SO <sub>3</sub>	3,23
CaO	38,57
FeO	0,12

ние оксидов калия (0,98%) и натрия (0,5%) (табл. 2). Это может приводить к нестабильности сроков схватывания и образованию больших деформаций при наличии аморфного кремнезема.

Таким образом, в результате проведенных исследований было выяснено, что минеральный, вещественный и гранулометрический состав микродура позволяет использовать его в качестве мелкодисперсного вяжущего вещества для получения строительных и тампонажных растворов с оптимальной структурой.

**Ключевые слова:** моделирование структуры сверхлегких цементных растворов, полые стеклянные микросферы, микродур.

Список литературы

1. Орешкин Д.В., Фролов А.А., Ипполитов В.В. Проблемы теплоизоляционных тампонажных материалов для условий многолетних мерзлых пород. М.: Недра, 2004. 232 с.
2. Орешкин Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства // Строит. материалы. 2010. № 6. С. 34–37.
3. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: АСВ, 2009. 296 с.
4. Горчаков Г.И., Ортентлихер Л.П., Савин В.И., Воронин В.В., Алимов Л.А., Новикова И.П. Состав, структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1976. 145 с.
5. Бокий Г.Б. Кристаллохимия. М.: Изд-во МГУ, 1960. 357 с.
6. Сахаров Г.П. О рациональности дисперсности песка для ячеистого бетона // Строит. материалы. № 6. 1978. С. 28–31.

Н.А. САПЕЛИН, канд. техн. наук, ООО «ВНИИСТРОМ-НВ»;  
 А.Н. САПЕЛИН, инженер (sapelinan@mail.ru), НИИСФ РААСН (Москва)

## Влияние структуры пустот на прочность теплоизоляционных силикатных материалов

Интенсивное развитие и внедрение пористых теплоизоляционных силикатных материалов требует их дальнейшего исследования с целью создания технологии, обеспечивающей рациональную ячеистую структуру.

Одним из важнейших свойств теплоизоляционных силикатных материалов является прочность. В 1963 г. В.А. Пинскер вывел теоретическую зависимость прочности ячеистого бетона от средней плотности [1]. Он исходил из того, что шаровые пустоты расположены гексогонально и равномерно. Применив решение безмоментной теории для шарового купола при вертикальной нагрузке, В.А. Пинскер получил следующую зависимость относительной прочности ячеистого бетона от относительной плотности:

$$R_o = 1 - 1,015(1 - \rho_o)^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где  $R_o$  – относительная прочность ячеистого бетона (отношение прочности ячеистого бетона к прочности матрицы ячеистого бетона);  $\rho_o$  – относительная плотность ячеистого бетона (отношение плотности ячеистого бетона к плотности матрицы ячеистого бетона).

На основании гипотезы, что прочность гипсового камня пропорциональна удельному числу контактов кристаллов дигидрата сульфата кальция друг с другом, выведена теоретическая зависимость относительной прочности  $R_o$  гипсовых изделий от их относительной плотности  $\rho_o$  [2]:

$$R_o = 1 - 1,056(1 - \rho_o)^{\frac{2}{3}}. \quad (2)$$

Анализ зависимостей (1) и (2) показывает, что они не учитывают структуру пустот. Целью данной работы является теоретическое и экспериментальное обоснование влияния геометрических параметров пустот на прочность теплоизоляционных силикатных материалов (пористая керамика, пустотные гипсовые изделия, пенобетон и др.).

При рассмотрении зависимости прочности от структуры материала будем использовать следующие допущения [3, стр. 10–12]:

- материал тела за пределами поры имеет сплошное (непрерывное) строение;
- материал тела за пределами поры изотропен, то есть обладает во всех направлениях одинаковыми свойствами;
- в теле до приложения нагрузки нет внутренних (начальных) усилий;
- весь материал состоит из кубических ячеек размером  $\sqrt[3]{V_k}$ , где  $V_k$  – объем кубической ячейки. В каждой ячейке имеется пустота с определяющим размером  $d$  [4].

Пустоты могут быть различной формы: шаровые, эллипсоидные и др.

Минимальная толщина перегородки в ячейке составляет:

$$b/2 = 0,5(\sqrt[3]{V_k} - d).$$

Рассмотрим кубическую ячейку размером  $\sqrt[3]{V_k}$  с пустотой определяющего размера  $d$  (рис. 1).

Объем пустоты:

$$V_{\text{пуст}} = d^3 \left[ 1 - \frac{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}{a^3} \right], \quad (3)$$

где  $a \geq 1$  – коэффициент, определяющий радиус скругления  $r = d/2a$  и форму пустоты. При  $a = 1$   $r = d/2$  пустота имеет форму шара.

Коэффициент  $K_1$  [4], показывающий долю объема, занимаемого пустотой в ячейке с определяющим размером  $d$ , составит:

$$K_1 = V_{\text{пуст}}/d^3 = 1 - \frac{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}{a^3}. \quad (4)$$

При  $a = 1$   $K_1 = \frac{\pi}{6}$ .

В нашем случае форма пустоты меняется значением коэффициента структуры  $a$  (радиусом скругления  $r = d/2a$ ).

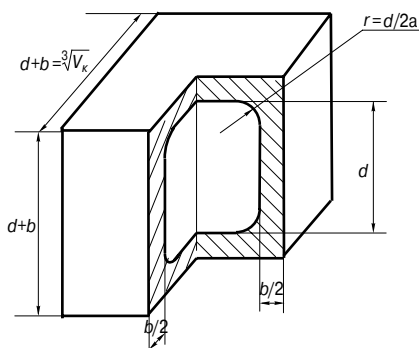


Рис. 1. Кубическая ячейка пористого материала

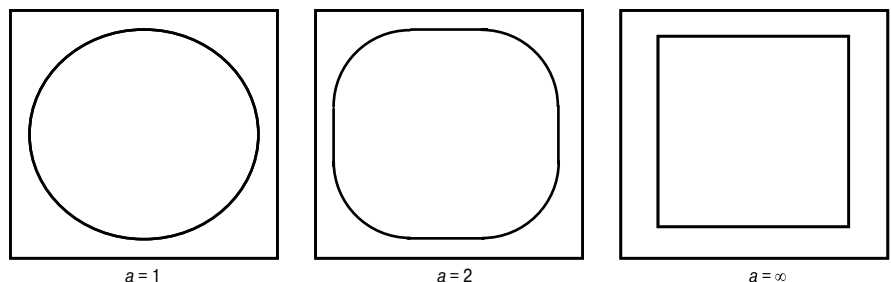


Рис. 2. Зависимость формы пустоты от коэффициента структуры  $a$



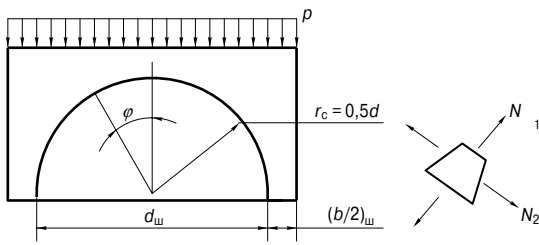


Рис. 3. Схема нагружения кубической ячейки с шаровой формой пустоты ( $a = 1$ )

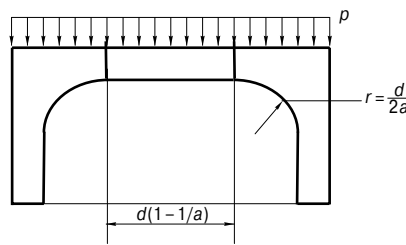


Рис. 4. Схема нагружения кубической ячейки с нешаровой формой пустоты ( $a \geq 1$ )

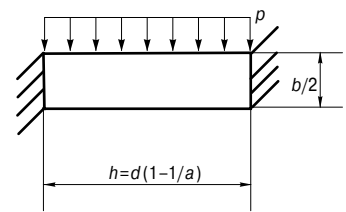


Рис. 5. Прямоугольная пластина закреплена по контуру

На рис. 2 представлены различные формы пустоты в зависимости от коэффициента структуры  $a$ .

Из формулы (3) получаем:

$$d = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{пуст}}}{1 - \frac{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}{a^3}}}. \quad (5)$$

Задаемся относительной плотностью кубической ячейки  $\rho_{\text{отн}} = 1 - \frac{V_{\text{пуст}}}{V_k}$ , откуда:

$$V_{\text{пуст}} = (1 - \rho_{\text{отн}}) V_k, \quad (6)$$

тогда

$$d = \sqrt[3]{\frac{(1 - \rho_{\text{отн}}) V_k}{1 - \frac{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}{a^3}}}. \quad (7)$$

Толщина перегородки:

$$b/2 = 0,5(\sqrt[3]{V_k} - d) = 0,5\sqrt[3]{V_k} (1 - \sqrt[3]{1 - \frac{(1 - \rho_{\text{отн}}) V_k}{a^3}}). \quad (8)$$

При шаровой форме пустоты ( $a = 1$ ):

$$d_{\text{ш}} = \sqrt[3]{\frac{6(1 - \rho_{\text{отн}}) V_k}{\pi}}, \quad (b/2)_{\text{ш}} = 0,5\sqrt[3]{V_k} (1 - \sqrt[3]{\frac{6(1 - \rho_{\text{отн}})}{\pi}}). \quad (9)$$

Рассмотрим верхнюю половину кубической ячейки с шаровой формой пустоты, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой  $p$ . Для расчета возникающих усилий и напряжений воспользуемся безмоментной теорией, применяемой при расчете куполов [5].

Усилие по направлению меридиана на единицу длины кольцевого сечения ( $N_1 = \sigma_1 \frac{b}{2}$ ) рассчитывается по формуле [5]:

$$N_1 = -0,5 p r_c = -0,25 p d, \text{ Н/м}. \quad (10)$$

Кольцевое усилие на единицу длины меридиана ( $N_2 = \sigma_2 \frac{b}{2}$ ) рассчитывается по формуле [5]:

$$N_2 = -0,5 p r_c \cos 2\varphi = -0,25 p d \cos 2\varphi, \text{ Н/м}. \quad (11)$$

При  $\cos 2\varphi = 1 (\varphi = 0) - N_2 = -0,25 p d$ . Таким образом, максимальное усилие на единицу длины  $N_1 = N_2 = -0,25 p d$  возникает при  $\varphi = 0$  в точке с наименьшей толщиной перегородки. Знак минус указывает на то, что возникают сжимающие усилия.

Максимальное напряжение сжатия при шаровой форме пустот:

$$\sigma_{1\text{ш}} = \frac{2N_1}{b} = \frac{0,5p}{(-1 + \sqrt[3]{\frac{\pi}{6(1 - \rho_{\text{отн}})}})} \leq [\sigma_{\text{сж}}]. \quad (12)$$

Максимальное напряжение сжатия в зависимости от формы пустоты в шаровой части ячейки:

$$\sigma_1 = \frac{2N_1}{b} = 0,5p \frac{\sqrt[3]{1 - \frac{1 - \rho_{\text{отн}}}{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}}}{1 - \sqrt[3]{\frac{1 - \rho_{\text{отн}}}{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}}} \leq [\sigma_{\text{сж}}], \quad (13)$$

откуда максимальная удельная нагрузка на ячейку:

$$p = 2 [\sigma_{\text{сж}}] \left( \sqrt[3]{1 - \frac{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}{a^3}} - 1 \right). \quad (14)$$

Относительная прочность (по отношению к сплошному материалу):

$$R_{\text{сж}} = 2 \left( \frac{\sqrt[3]{1 - \frac{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}{a^3}}}{\sqrt[3]{1 - \rho_{\text{отн}}}} - 1 \right), \quad (15)$$

при шаровой форме пустоты:

$$R_{\text{сжш}} = 2 \left( \sqrt[3]{\frac{\pi}{6(1 - \rho_{\text{отн}})}} - 1 \right). \quad (16)$$

Рассмотрим кубическую ячейку материала с пустотой нешаровой формы ( $a \geq 1$ ) рис. 4. Поскольку в данном случае в середине кубической ячейки появляется участок с постоянной толщиной, безмоментная теория не подходит. Поэтому к этому участку с постоянной толщиной применим метод расчета пластин, закрепленных по контуру (рис. 5) [6, 7].

Согласно данным [6] наибольшее изгибающее напряжение возникает в середине стороны и определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{изг}} = 0,3102 p \left( \frac{h}{b/2} \right)^2 = 1,2408 p \left[ \frac{1 - \frac{1}{a}}{-1 + \sqrt[3]{1 - \frac{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}{a^3}}} \right]^2 \leq [\sigma_{\text{изг}}], \quad (17)$$

откуда максимальная удельная нагрузка на ячейку:

$$p = \frac{[\sigma_{\text{изг}}] \left( -1 + \sqrt[3]{1 - \frac{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}{a^3}} \right)^2}{1,2408 \left( 1 - \frac{1}{a} \right)^2}. \quad (18)$$

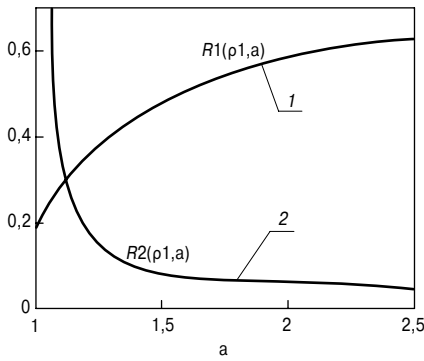


Рис. 6. Зависимость относительной прочности керамических материалов и растворов от формы пустоты

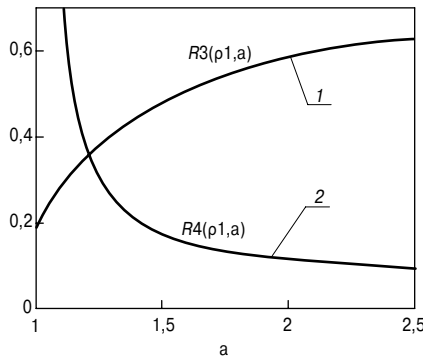


Рис. 7. Зависимость относительной прочности гипсовых материалов от формы пустоты

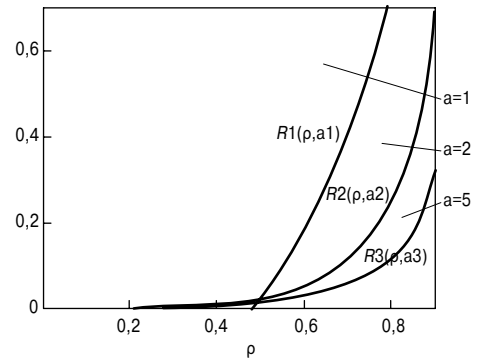


Рис. 8. Зависимость относительной прочности от плотности керамических материалов и растворов при различных формах пустоты

Для хрупких материалов прочность при сжатии значительно выше, чем прочность при изгибе. Коэффициент, представляющий отношение прочности при сжатии к прочности при изгибе  $K_R$ , составляет:

- для керамических материалов  $K_R = 4,5-5,6$ ;
- для гипса  $K_R = 1,7-3,1$ ;
- для строительных растворов  $K_R = 4,5-5,6$ .

И тогда относительная прочность от действия изгибающих нагрузок:

$$R_{изг} = \frac{(-1 + \sqrt[3]{1 - \frac{(1 - \frac{\pi}{6}) + 3(a-1)(1 - \frac{\pi}{4})}{a^3}})}{1,2408 K_R (1 - \frac{1}{a})^2} \quad (19)$$

На рис. 6 представлена зависимость относительной прочности керамических материалов и растворов от действия сжимающих напряжений (кривая 1) и от действия изгибающих напряжений (кривая 2) при  $\rho_{отн} = 0,6$  и  $K_R = 5$ . На рис. 7 представлена зависимость относительной прочности гипсовых материалов от действия сжимающих напряжений (кривая 1) и от действия изгибающих напряжений (кривая 2) при  $\rho_{отн} = 0,6$  и  $K_R = 3$ .

Анализ зависимостей на рис. 6, 7 показывает, что при шаровой и близкой к ней форме пустоты прочность материала определяется сжимающими напряжениями, а с приближением формы пустоты к кубу (с увеличением коэффициента  $a$ ) прочность понижается и определяется изгибающими напряжениями.

При  $a = 2$  прочность керамических материалов и растворов понижается в 2,8 раза, а гипсовых материалов – в 1,4 раза.

На рис. 8 показана теоретическая зависимость относительной прочности от плотности при различных формах пустоты ( $a = 1$  – шаровые пустоты – кривая 1;  $a = 2$  – кривая 2;  $a = 5$  – кривая 3). Приведенные на рис. 8 зависимости показывают, что при относитель-

ной плотности материала более 0,5 наибольшая прочность получается при шаровой форме пустоты. Однако если относительная плотность материала меньше 0,5, то более прочными являются материалы с кубическими пустотами.

Известно [3, стр. 92–93], что при резком изменении контура поперечного сечения в местах резкого изменения геометрической формы значительно повышается напряжение, то есть возникает концентрация напряжений. В данной работе влияние концентрации напряжений не учитывалось.

Таким образом, при получении материалов с относительной плотностью от 0,1 до 0,4 наиболее рациональными являются пустоты в форме многогранника с плавными переходами. Такая структура материала реализуется, например, в пенах.

Для проверки теоретических зависимостей был проведен следующий эксперимент. Изготовили резиновые пустотообразователи шаровой формы и кубической формы со скругленными гранями ( $a = 2$ ). Объемы и количество пустотообразователей были одинаковы. Данные пустотообразователи были закреплены на тонких струнах в кубической упаковке и помещены в форму размером  $100 \times 100 \times 100$  мм. Грани кубических пустотообразователей были расположены параллельно. Формы залили гипсовой смесью одинаковой консистенцией ( $B/\Gamma = 0,627$  для всех образцов). Контрольную форму залили без пустотообразователей. Образцы после затвердевания вынули из формы и высушили до постоянной массы. Затем определили прочность полученных образцов. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Экспериментальное значение  $\frac{R_{шар.к}}{R_{куб.к}} = 1,59$ .

Теоретическое значение  $\frac{R_{шар.к}}{R_{куб.к}} = 1,668$ .

Отклонение теоретического значения от экспериментального составляет 4,6%, что при принятых допущениях является хорошим соответствием.

Таблица 1

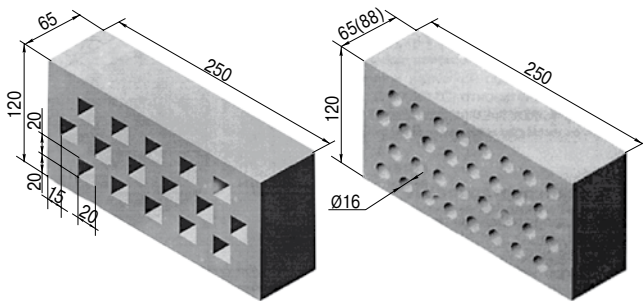
Образец	Пустотообразователи			Относительная плотность	Плотность сухих образцов, кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа	Относительная прочность
	Вид и форма	Кол-во, шт.	Фактический объем пустот, см <sup>3</sup>				
Куб сплошной	–	0	0	1	1107	10,143	1
Куб с шарами, кубическая упаковка	Шар, $\varnothing 15,08$ мм	216	404,25	0,6	664	3,138	0,309
Куб со скругленными кубиками ( $a = 2$ ), кубическая упаковка	Куб размером 12,78 мм со скруглением	216	397,1	0,546	604	1,967	0,194

Таблица 2

Замес	Образец	Пустотообразователи		Фактический объем пустот, см <sup>3</sup>	Относительная плотность	Плотность сухих образцов, кг/м <sup>3</sup>	R <sub>сжк</sub> , МПа
		Вид и форма	Кол-во, шт.				
1	Куб сплошной	–	0	0	1	1220	
	Куб с шарами, хаотичная упаковка	Шар, Ø15,08 мм	216	179,67	0,495	604	1,24
2	Куб сплошной	–	0	0	1	1077	
	Куб со скругленными кубиками (a = 2), хаотичная упаковка	Куб размером 12,78 мм со скруглением	216	176,51	0,492	530	0,83

Таблица 3

n	1	1,25	1,5	1,75	2	∞
K <sub>n</sub>	0,0513	0,0665	0,0757	0,0818	0,0829	0,0838
R <sub>отн л</sub>	1	0,771	0,678	0,628	0,616	0,612



Объем пустот  
 $V_n = 20 \times 20 \times 65 \times 16 = 416000 \text{ мм}^3$   
 Относительная плотность  
 $\frac{250 \times 120 \times 65 - 416000}{250 \times 120 \times 65} = 0,7867$

Объем пустот  
 $V_n = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} \times 65 \times 32 = 417997 \text{ мм}^3$   
 Относительная плотность  
 $\frac{250 \times 120 \times 65 - 417997}{250 \times 120 \times 65} = 0,7856$

Рис. 9. Керамический кирпич с различными формами пустот

Для определения влияния хаотичности распределения пустот провели следующий эксперимент. Подготовили гипсовую смесь с В/Г = 0,6, смешали с одинаковым количеством (96 шт.) шаровых (общий объем 180 см<sup>3</sup>) и кубических (a = 2, общий объем 177 см<sup>3</sup>) пустотообразователей и заполнили формы размером 70×70×70 мм. Образцы после затвердевания вынули из формы и высушили до постоянной массы. Затем определили прочность полученных образцов. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

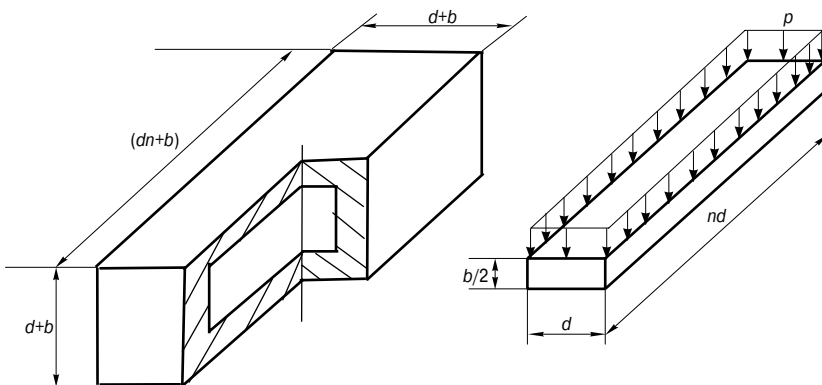


Рис. 10. Ячейка пористого материала в форме прямоугольной призмы

В этом случае  $R_{\text{шар}} / R_{\text{куб}} = 1,494$ . Отклонение от теоретического значения составляет 10,4%.

Данные табл. 2 показывают, что хаотическое распределение пустотообразователей оказало незначительное влияние на прочность.

Практическое применение результатов теоретических и экспериментальных зависимостей возможно, например, при выборе формы пустот для керамического кирпича. Согласно ГОСТ 530–2007 кирпич керамический выпускается с квадратными и круглыми пустотами (рис. 9). При одинаковой относительной плотности предпочтительнее использовать кирпич с круглыми отверстиями.

Известно [4], что коэффициент, показывающий долю объема, занимаемого шаровыми пустотами, в зависимости от их расположения составляет:

$K_1 = 0,52$  – при кубической упаковке шаровых пустот;

$K_1 = 0,729$  – при гексагональной упаковке шаровых пустот;

$K_1 = 0,809–0,812$  – при полидисперсном распределении шаровых пустот разного размера.

Таким образом, наиболее рациональной является шаровая форма пустот. Однако при шаровой форме и полидисперсном распределении пустот можно получить минимальную относительную плотность, равную 0,188.

Для определения влияния длины пустотообразователей на прочность рассмотрим ячейку материала (рис. 10). Выделим из ячейки элемент размером  $d \times nd \times b/2$  и рассмотрим его как пластину, защемленную по контуру, и нагруженную распределенной нагрузкой p.

Отношение длинной стороны к короткой  $\frac{nd}{d} = n$ .

Согласно данным [7] наибольшее изгибающее напряжение определяется по формуле:

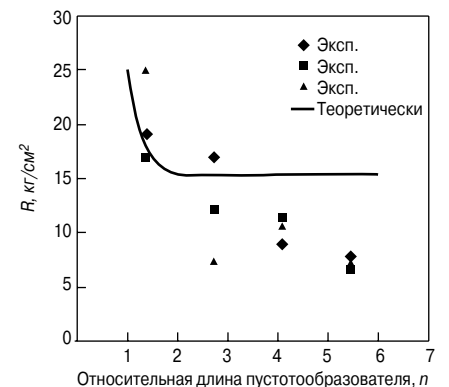


Рис. 11. Теоретическая зависимость и экспериментальные данные прочности от длины пустотообразователей

Таблица 4

Порообразователи, мм	Относительная длина порообразователя	Плотность образца, кг/м <sup>3</sup>	Относительная плотность	Прочность $R_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>	Средняя прочность $R_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>
2,2×2,2×3	1,364	1321	0,785	19,1	20,35
		1321	0,785	16,95	
		1321	0,785	25	
2,2×2,2×6	2,727	1321	0,785	16,95	12,17
		1330	0,785	12,18	
		1311	0,785	7,4	
2,2×2,2×9	4,091	1311	0,785	8,99	10,35
		1321	0,785	11,38	
		1302	0,785	10,66	
2,2×2,2×12	5,4545	1311	0,785	7,4	7,14
		1311	0,785	6,61	
		1311	0,785	7,4	

$$\sigma_{изг} = 6K_n p \left(\frac{d}{b/2}\right)^2 \leq [\sigma_{изг}], \quad (20)$$

где  $K_n$  – коэффициент, зависящий от длины  $n$  ячейки (табл. 3), и тогда прочность  $p = R_{изг} = ([\sigma_{изг}])/6K_n \left(\frac{d}{b/2}\right)^2$ .

Относительная прочность (по отношению к кубической ячейке):

$$R_{отн n} = \frac{R_{изг}}{R_{изг K=1}} = \frac{K_{n=1}}{K_n}. \quad (21)$$

Значения  $K_n$  возьмем из таблицы [7, стр. 422]. Результаты вычислений относительной прочности и значений  $K_n$  сведем в табл. 3.

Данные табл. 3 показывают, что с увеличением коэффициента  $n$  (с увеличением отношения наибольшего размера пустоты к наименьшему) прочность понижается.

В керамической промышленности в качестве пустотообразователя широко применяются опилки. Примем допущение, что форма пустот после обжига и выгорания опилок принимает форму опилок.

Для определения влияния длины пустотообразователей (опилок) на прочность керамических изделий проведены экспериментальные исследования глиняных образцов с пустотообразователями в виде скругленных деревянных призм сечением 2,2×2,2 мм и длиной 3 мм, 6 мм, 9 мм и 12 мм. Объем пустотообразователей во всех образцах одинаков.

Результаты испытаний представлены в табл. 4.

На рис. 9. представлены теоретическая зависимость и экспериментальные данные прочности от длины пустотообразователей.

Анализ данных табл. 3, 4 и зависимостей рис. 9 показывает, что использование коротких опилок при одной и той же плотности материала позволяет увеличить прочность до 2 раз при относительной плотности 0,785. Теоретическая зависимость и экспериментальные данные имеют хорошее совпадение при относительных длинах пустотообразователей от 1 до 3. При увеличении относительной длины пустотообразователей до 5–6 наблюдается значительное расхождение между теоретическими и экспериментальными данными (снижение прочности по теоретическим зависимостям в 1,63 раза, по экспериментальным данным – в 2,8 раза). Это расхождение объясняется, по-видимому, тем, что в теоретических зависимостях не учтено влияние степени распределения пустотообразователей с увеличением их длины на прочность материала. С увеличением относительной длины пустотообразователи приобретают свойства фибровых стержней, равномерное распределение которых весьма затруднительно. Необходимо провести дальнейшие исследования с уче-

том равномерности распределения стержневых пустотообразователей.

### Выводы

- Получено теоретическое обоснование и экспериментальные зависимости прочности теплоизоляционных силикатных материалов от формы пустот.
- Для повышения прочности пористого материала необходимо стремиться к созданию шаровой формы пустот. Переход от кубической формы пустоты к шаровой в зависимости от плотности материала позволяет увеличить прочность в 1,5–3 раза.
- При получении материалов с относительной плотностью менее 0,188–0,48 наиболее рациональными являются пустоты в форме многогранника с плавными переходами.
- При использовании пустотообразователей (опилки, стружки и др.) для повышения прочности материала необходимо стремиться к уменьшению их относительной длины до 1. Использование коротких пустотообразователей позволяет увеличить прочность в 2–3 раза.

**Ключевые слова:** прочность, форма, пустота, теплоизоляция, материал.

### Список литературы

1. Пинскер В.А. Некоторые вопросы физики ячеистого бетона: Сб. трудов «Жилье дома из ячеистого бетона». М.–Л.: Госстройиздат, Ленинградское отд., 1963. С. 123–143.
2. Сапелин Н.А., Бурьянов А.Ф., Бортников А.В. Зависимость прочности бетонов на основе неорганических вяжущих от средней плотности // Строит. материалы. 2001. № 6. С. 36–38.
3. Степин П.А. Сопротивление материалов. Издание 4-е стереотипное. М.: Высшая школа, 1968. 424 с.
4. Сапелин Н.А. Влияние геометрических параметров структуры на плотность пористых материалов / Архитектурно-строительное материаловедение на рубеже веков: Материалы международной интернет-конференции. Белгород: БелГАСМ, 2002. С. 159–166.
5. Липницкий М.Е. Купола (расчет и проектирование). Л.: Издательство литературы по строительству, 1973. 129 с.
6. Справочник машиностроителя. Том 3. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1955. 564 с.
7. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 592 с.



# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

тематический раздел журнала «Строительные Материалы» №5-2011 г.



technology



# Механический делитель проб щебня



Делитель проб ротационный  
центробежный **ДПЦ-100**  
предназначен для сокращения горных пород  
при подготовке к аналитическим исследованиям

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДПЦ-100

Крупность исходного питания, мм, не более.....	25
Полный объем всех пробоприемников, дм <sup>3</sup> .....	100
Показатель сокращения.....	1/2–1/8
Мощность электродвигателя, кВт.....	0,18
Габаритные размеры, мм, не более: .....	
длина.....	955
ширина .....	955
высота.....	1100
Вес, кг, не более.....	82

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ  
 **МЕХАНОБР  
ТЕХНИКА**

199106, Россия, Санкт-Петербург, В.О., 22 линия, дом 3  
Факсы +7 (812) 327 75 15, 325 62 02  
Телефоны +7 (812) 331 02 42, 331 02 43, 331 02 57  
E-mail sales@npr-mt.spb.ru , gornyi@peterlink.ru

[www.mtspb.ru](http://www.mtspb.ru)



УДК 622.232.8

О.Ю. БИЗЯЕВ, главный конструктор направления,  
 В.З. МАРМАНДЯН, главный специалист,  
 Н.Б. РЖАНКОВА, ведущий инженер, ОАО «Научно-производственная корпорация  
 «Механобр-техника» (Санкт-Петербург);  
 А.О. МЕЗЕНИН, инженер, Санкт-Петербургский государственный горный институт  
 (Технический университет)

## Механический делитель проб щебня

В настоящее время в Российской Федерации выпускается около 150 млн м<sup>3</sup> щебня в год, в 2010 г., по данным Росстата, произведено 142 млн м<sup>3</sup>.

Номенклатура нерудных строительных материалов разнообразна и имеет широкий диапазон характеристик. Определение характеристик продукции в заводских лабораториях – процесс трудоемкий. Для разработки технологии производства щебня из горных пород, моделирования новых технологических схем и режимов работы оборудования на действующих предприятиях, а также при испытаниях новых машин необходимо выполнять исследовательские работы. Эти работы включают аналитические (минералогический, фазовый, элементный анализ) и технологические исследования (дробимость, морозостойкость и пр.) горных пород.

Для выполнения указанных исследований требуется проба, масса которой определяется крупностью и значением щебня. В настоящее время при делении проб используется ручной способ перемешивания материала методом кольца и конуса. Затем производится многократное квартование до получения веса, равного минимальному расчетному весу пробы. Этот способ получения представительной пробы является громоздким, требующим значительных затрат ручного труда.

Подготовка масс проб для аналитических работ, когда исследуется материал размером до 0,1 мм и менее,

осуществляется также вручную методом квартования тщательно перемешанной пробы.

Созданные ранее механические делители сухих проб предназначались в основном для рудной промышленности и на предприятиях нерудных строительных материалов из-за своей специфичности не применяются. Для подготовки проб к технологическим исследованиям на дробимость, морозостойкость и пр. необходимо сокращать пробы массой 1000 кг и более с крупностью зерен материала 20–25 мм. В этом случае требуются механические делители проб, которые отечественными промышленностью не выпускаются.

В настоящее время научно-производственной корпорацией «Механобр-техника» (НПК «Механобр-техника») разработан и изготовлен делитель проб ротационный центробежный ДПЦ-100 с объемом пробоприемников 100 л для материала крупностью до 20–25 мм (рис. 1) с показателем сокращения 1/2–1/8.

Для определения показателей работы делителя и оптимизации режимов были проведены продолжительные исследования на гранитном щебне Гавриловского месторождения крупностью 20–25, 15 и 5 мм. При исследованиях изменялась масса проб, производительность и частота вращения. Качество деления исходного материала определялось сравнением массы и гранулометрических характеристик разделенных проб.

Анализ результатов исследований показал возможность успешной работы на механическом делителе с большими массами проб крупностью до 20 мм при производительности до 0,5 т/ч и частоте вращения от 27 до 54 об/мин (0,3–0,6 м/с). Статистическая обработка результатов показала, что точность деления пробы возрастает при увеличении ее массы. Результаты деления пробы при изменении ее массы представлены в таблице. Полученные показатели работы делителя указывают на достаточно высокую точность деления по массе (погрешность не превышает 3%).



Рис. 1. Делитель проб ротационный центробежный в комплекте с электровибрационным питателем и приемными устройствами

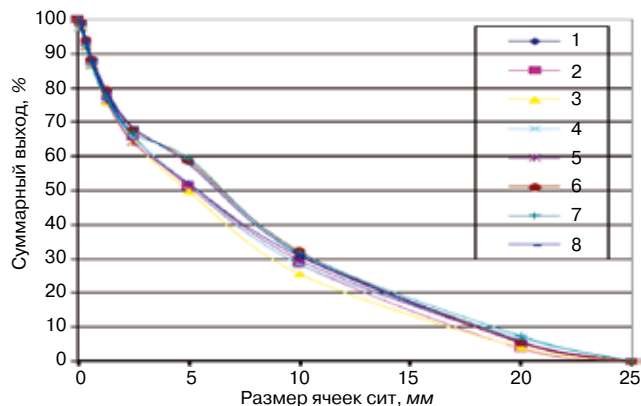


Рис. 2. Гранулометрические характеристики разделенных продуктов пробы (частота вращения 0,3 м/с, крупность материала 25 мм)

## Результаты деления проб при изменении массы

Масса пробы, кг	Долевые отклонения от среднего значения разделенной массы пробы, %								Среднее отклонение, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	
50	2,9	2,66	2,76	2,26	2,68	5,5	1,54	1,31	2,7
100	2,06	2,3	3,3	1,74	2,07	4,27	1,78	0,92	2,3
150	1,71	2,26	3,1	1,36	1,73	2,19	1,97	1,37	1,96
200	1,36	2,44	2,85	1,33	1,44	0,44	2,16	1,51	1,69
250	0,67	2,15	3,02	1,04	1,19	0,48	2,2	1,9	1,58

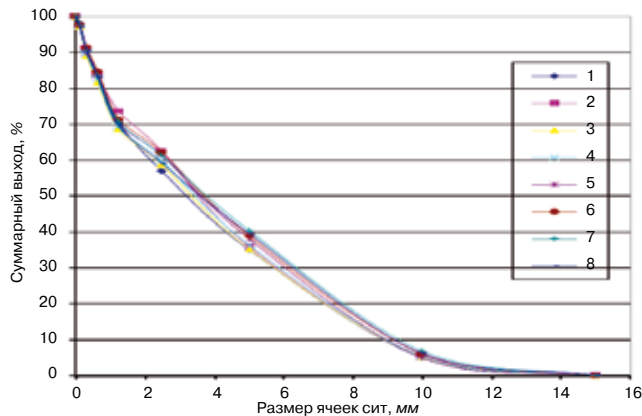


Рис. 3. Гранулометрические характеристики разделенных продуктов пробы (частота вращения 0,3 м/с, крупность материала 15 мм)

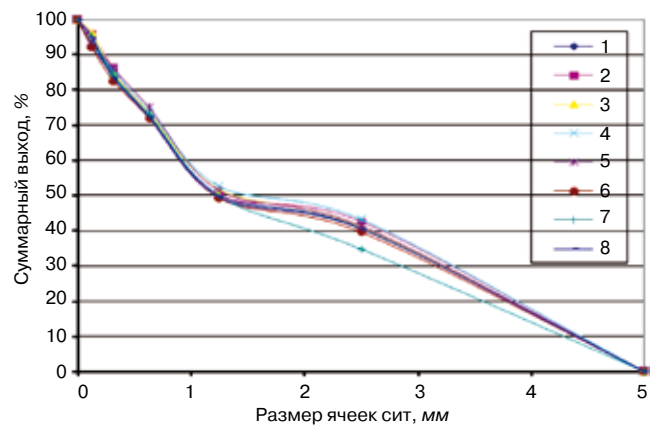


Рис. 4. Гранулометрические характеристики разделенных продуктов пробы (частота вращения 0,3 м/с, крупность материала 5 мм)

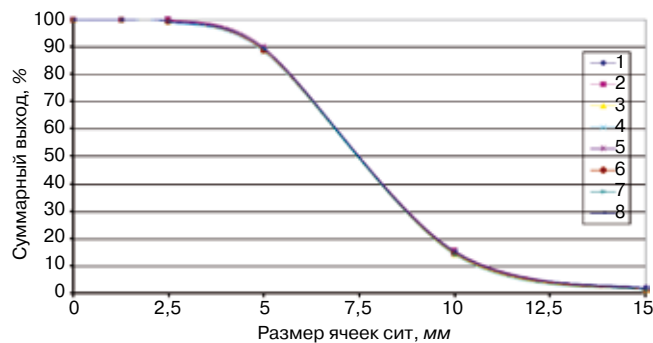


Рис. 5. Гранулометрические характеристики разделенных продуктов пробы (частота вращения 0,45 м/с, крупность материала 15 мм)

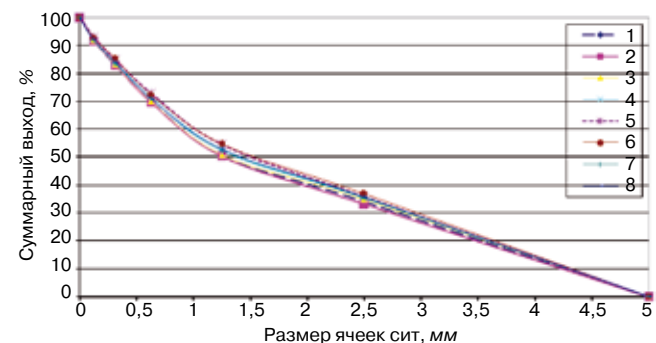


Рис. 6. Гранулометрические характеристики разделенных продуктов пробы (частота вращения 0,45 м/с, крупность материала 5 мм)

Однако для обеспечения представительности пробы наиболее важным показателем является гранулометрический состав материала, определяющий как его физико-механические свойства, так и распределение загрязняющих примесей. Поэтому особое внимание было уделено точности распределения узких классов крупности по разделенным продуктам исследуемой пробы при изменяемых параметрах работы делителя (крупности исходного питания и частоты вращения).

На рис. 2–4 представлены гранулометрические характеристики восьми разделенных продуктов проб крупностью соответственно 25 мм, 15 мм и 5 мм при частоте вращения делителя 27 об/мин (0,3 м/с). Графики показывают, что при незначительных отклонениях содержания фракций 1–0 мм по отдельным промежуточным классам крупности отклонения в разделенных продуктах достигают 6–8%.

Для оптимизации режима деления материала была повышена частота вращения прободелителя до 40,5 об/мин и 46 об/мин. На рис. 5 и 6 показаны гранулометрические характеристики разделенных продуктов проб крупностью 15 мм и 5 мм при частоте вращения 40,5 об/мин.

Результаты эксперимента показывают, что увеличение частоты вращения позволяет достигнуть более точ-

ного разделения проб с отклонениями по отдельным фракциям крупности, не превышающим 2–3%. Таким образом, рациональный скоростной режим работы делителя 40,5–46 об/мин (0,45–0,5 м/с).

Получение одновременно восьми идентичных по гранулометрическому составу и практически равнозначных по массе проб дает возможность одновременно проводить все последующие лабораторные исследования (физико-химических, минералогических и т. д.) продукции согласно техническим условиям.

### Выводы

1. Созданный центробежный делитель проб обеспечивает механизированное деление проб крупностью до 20 мм с отклонениями по гранулометрическому составу отдельных фракций не более 3%.
2. Делитель проб рекомендуется для подготовки проб к технологическим и аналитическим исследованиям в лабораториях предприятий промышленности нерудных строительных материалов и научных организаций.

**Ключевые слова:** делитель проб; гранулометрическая характеристика; щебень, лабораторные исследования технологических характеристик.

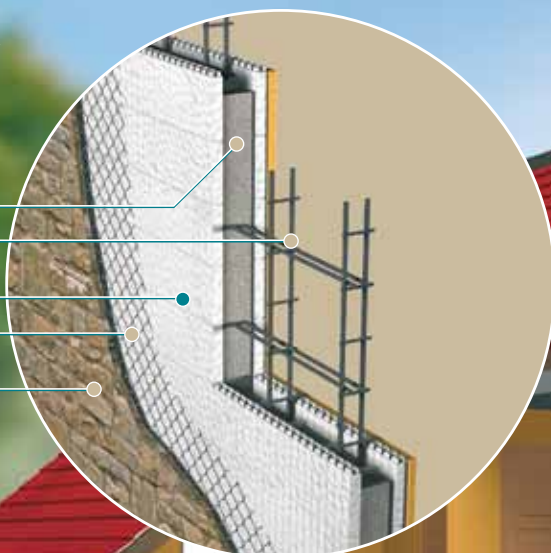
# НЕСЪЕМНАЯ ОПАЛУБКА ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

В основе технологии несъемной опалубки лежит использование стеновых пустотелых элементов из пенополистирола самозатухающих марок. Из этих элементов осуществляется сборка стен, внутренние полости которых армируются и заполняются бетоном. В ходе одной технологической операции сооружается монолитная бетонная стена, утепленная как с внешней, так и с внутренней стороны.

Пенополистирол способен длительное время нести высокую механическую нагрузку, не подвергаясь деформации, а высокая влагостойкость обеспечивает долговечность конструкции и увеличение срока службы сооружения в целом.

За 60 лет успешного применения пенополистирол зарекомендовал себя как один из самых востребованных в мире утеплителей: 8 из 10 частных домов в Европе утеплены качественным пенополистиролом!

бетон  
арматура  
пенополистирол из ALPHAPOR  
полимерная сетка  
декоративная облицовка



alphapor

Использование нового сырья европейского качества ALPHAPOR гарантирует высокие свойства, экономичность и безопасность пенополистирола. Созданный по австро-норвежской технологии вспенивающийся пенополистирол ALPHAPOR предназначен для производства теплоизоляции, несъемной опалубки, пенополистирольных блоков для строительства дорог и мостов, упаковки бытовой техники и пищевой упаковки. Все марки ALPHAPOR соответствуют строгим

европейским нормам по гранулометрическому составу, плотности и физико-механическим характеристикам, а благодаря содержанию антипиренов, материалы из ALPHAPOR пожаробезопасны.

**ALPHAPOR — ОСНОВА  
СОВРЕМЕННОГО УТЕПЛЕНИЯ**

[www.alphapor.ru](http://www.alphapor.ru)



В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук, Н.В. ПАВЛЕНКО, Е.В. МИРОШНИКОВ, кандидаты техн. наук, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## Комплексная система мониторинга и управления процессом получения наноструктурированного вяжущего

Задача энергосбережения при производстве строительных материалов и строительстве современных зданий стала мощным импульсом к разработке новых технологий, направленных на снижение энергоёмкости и оптимизации технологических процессов.

В себестоимости производства большинства видов строительных материалов наиболее высок удельный вес энергозатрат. Например, при производстве цемента доля энергоресурсов составляет 56%, извести – 49%, керамического кирпича – 28,7–53%, силикатных стеновых материалов – 11,2–37,7% [1]. В зависимости от специфики производства и степени оснащённости энергосберегающими технологиями на различных предприятиях составляющая энергоресурсов в себестоимости итогового продукта может варьироваться.

Механоактивация материалов в мельницах является широко распространённой технологической операцией в ряде современных производств. При производстве наиболее распространённых вяжущих и вяжущих нового поколения в общем распределении энергозатрат преобладающая часть приходится на помол исходных сырьевых компонентов в шаровых мельницах [2, 3].

В связи с этим необходимо использование новых подходов, способных снизить энергоёмкость процессов измельчения.

Получение наноструктурированного вяжущего (НВ) – это сложный технологический процесс поэтапного помола по мокрому способу кремнеземсодержащего сы-

рья в шаровой мельнице с керамической или полиуретановой футеровкой, проходящий с выделением тепла [4]. Во время измельчения материала необходимо в режиме реального времени контролировать большое количество параметров, влияющих на качество конечного продукта, таких как дисперсность системы, рН среды, температура, которые зависят от специфики исходного сырья.

Для промежуточного контроля характеристик необходимо останавливать помол, что негативно сказывается на качестве конечного продукта, а также делает процесс получения вяжущего весьма трудоёмким. Кроме того, большинство существующих технологий производства вяжущих веществ предусматривает получение конечного продукта путем непрерывного помола составляющих компонентов в шаровых мельницах.

Механоактивация сырья при получении НВ является периодическим процессом, продолжительность которого зависит от исходного материала и габаритов мельницы. В связи с этим актуальным является разработка систем мониторинга получения НВ с целью снижения энергозатрат на его производство с учетом специфики технологии.

Процесс помола по мокрому способу кремнеземсодержащего сырья носит итерационный характер. Основной процесс разбит на ряд этапов, которые включают в себя в зависимости от его текущего состояния загрузку мелющих тел, кремнеземсодержащего материала и жидкости в определенных количественных соотноше-

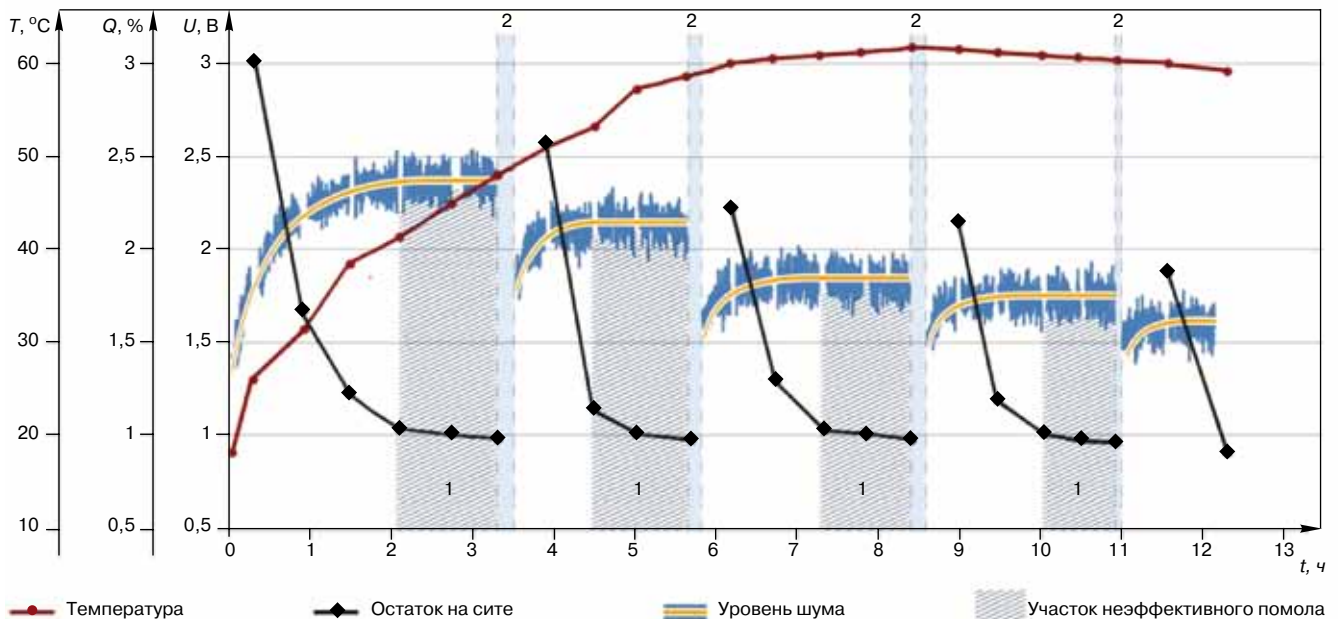
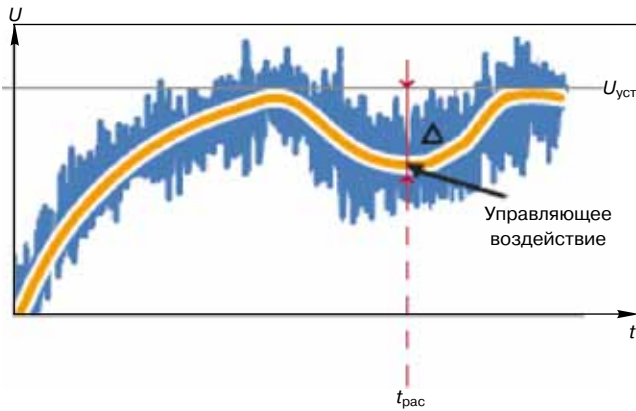
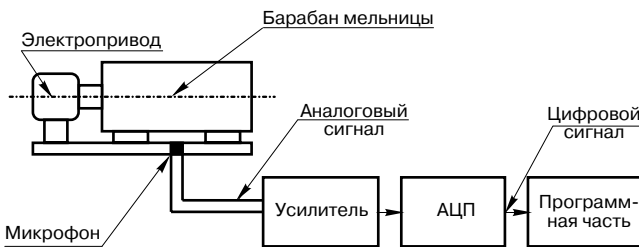


Рис. 1. Корреляция между массовой долей частиц размером более 66 мкм и уровнем шума: 1 – режим неэффективного помола; 2 – период дозагрузки сырья

<sup>1</sup> T, °C – температура материала в процессе помола; U, В – уровень шума мельницы; Q, % – количество частиц размером более 66 мкм.



**Рис. 2.** Динамика изменения уровня шума при налипании мелющих тел на барабан мельницы:  $U_{уст}$  – установившийся режим помола;  $t_{рас}$  – время отклонения от установившегося режима на величину  $\Delta$



**Рис. 3.** Структурная схема мониторинга процесса получения НВ

ниях. Качественные и количественные характеристики постадийной загрузки сырья и воды рассчитываются исходя из значений истинной плотности и ряда других показателей, определяемых по результатам комплексного анализа сырья.

Оптимизацию технологического процесса исходя из анализа процессов, определяющих энергозатраты при помоле, необходимо проводить по двум направлениям: сокращение времени помола и исключение эффекта налипания материала на мелющие тела.

В связи с этим была разработана система мониторинга технологического процесса получения наноструктурированного вяжущего на основе анализа шума, издаваемого мельницей, которая позволяет сократить технологический процесс и в режиме реального времени судить о его интенсивности.

Апробация системы проводилась в рамках Инновационного опытно промышленного центра наноструктурированных композиционных материалов (ИОПЦ НКМ) БГТУ им. В.Г. Шухова, на помольном агрегате РМШ 500, в качестве модельной системы применяли наноструктурированное вяжущее на основе перлита. Комплексная система мониторинга, анализа и поддержки принятия решения может применяться как на существующих предприятиях по производству строительных материалов, так и при реализации современных технологических решений, предусматривающих наличие шаровых мельниц.

Комплексный анализ характеристик материала при получении НВ позволил выявить корреляцию уровня шума и интенсивности помола (рис. 1). Наиболее эффективно измельчение материала происходит на этапе выхода мельницы на установившийся режим по шуму, после чего эффективность помола снижается. На основании статистических данных, полученных с акустического датчика и лазерного анализатора частиц «Микросайзер», экспериментально доказана возможность уменьшения периодов постадийной загрузки сырья.

В результате исследований определено, что в режиме неэффективного помола имеет смысл увеличить допу-

стимые интервалы вариации дисперсности частиц, поскольку КПД шаровой мельницы на данных этапах помола минимален. Сокращение количества участков неэффективного помола может быть компенсировано незначительным увеличением времени последнего этапа, что позволит на выходе получить материал с необходимыми характеристиками при значительно более низких энергетических затратах и более высоким КПД помольного агрегата.

Отдельным негативным фактором, влияющим на качество готовой продукции, является налипание мелющих тел шаровой мельницы на барабан. Это приводит к уменьшению температуры и снижению интенсивности помола за счет увеличения вязкости системы.

Комплексная система мониторинга, анализа и поддержки принятия решения позволяет отслеживать временные интервалы с критичным увеличением вязкости и своевременно вносить управляющее воздействие для разжижения системы.

Выявлена корреляция между уровнем шума, издаваемого мельницей при производстве НВ, и кинетикой помола сырья, заключающаяся в том, что установившийся уровень шума соответствует режиму неэффективного помола. Этот факт позволяет регулировать время загрузки материала, что обеспечивает снижение энергозатрат на производство вяжущего, уменьшает технологический период перехода на новый вид сырья, а также дает возможность осуществлять контроль технологического процесса (рис. 2).

Структурная схема мониторинга процесса получения НВ на основании акустического шума состоит из аппаратной (микрофон, усилитель, АЦП) и программной частей (алгоритмы, осуществляющие анализ записанных фрагментов акустического сигнала) (рис. 3).

Задача первой части системы – первичное преобразование акустического сигнала мельницы в электрический, его усиление, приведение к цифровой форме и передача посредством сети передачи данных.

В качестве первичного преобразователя акустического сигнала был применен электретный микрофон МКЭ-3 со встроенным усилителем на полевом транзисторе. Несмотря на свою дешевизну, данный микрофон обладает широким частотным диапазоном, минимальными нелинейными искажениями сигнала и низким уровнем собственных шумов.

Микрофон устанавливался в точке, рассчитанной по формуле [5]:

$$3 > d = K^M R^M \frac{3\pi - 4tg\theta}{12tg\theta} \geq \frac{120}{f} \geq 4\Phi,$$

где  $d$  – расстояние от установки датчика до сферы излучения мельницы  $M$  (рис. 4);  $K^M$  – коэффициент, учитывающий необходимую область охвата зоны максимального излучения;  $\theta$  – угол направленности;  $\Phi$  – диаметр диафрагмы акустического датчика;  $R^M$  – радиус мельницы;  $f$  – средняя частота полезного сигнала в Гц.

Для расчета принято:  $R^M=0,8$  м;  $K^M=1$ ;  $\theta=30^\circ$ ;  $\Phi=0,01$  м;  $f=10000$  Гц. Исходя из перечисленных значений, получили следующее соотношение:

$$3 > d = 1 \times 0,8 \times \frac{3\pi - 4tg \frac{\pi}{6}}{12tg \frac{\pi}{6}} \geq \frac{120}{10000} \geq 4 \times 0,01;$$

$$3 > d = 0,8 \times \frac{7,12}{6,93} \times 0,012 \geq 0,04; \quad 3 > d = 0,822 \geq 0,04.$$

Соотношение выполняется для расстояния  $d=0,822$  м от корпуса мельницы до микрофона.

В качестве первого каскада предварительного усиления для этого микрофона был применен усилитель, что позволяет усиливать сигнал как электретного, так и динамического микрофона.

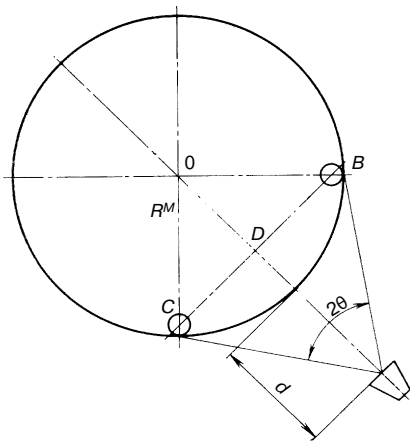


Рис. 4. Зона установки микрофона

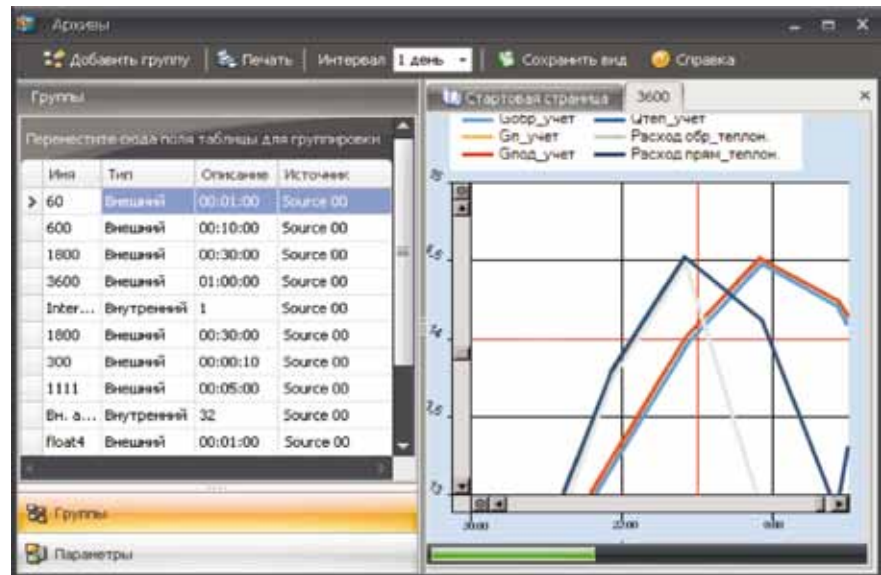


Рис. 5. Просмотр графиков архивируемых параметров

Второй каскад усиления собран на базе УНЧ. Мощность порядка 0,12 Вт.

Второй каскад усиливает сигнал с первого каскада микрофонного усилителя и после выпрямления в мостовом диодном выпрямителе подает на выход схемы.

Для преобразования уровня звукового сигнала в цифровой вид используется ПЛК КОНТАР МС8 (МЗТА). Сигнал подается на аналоговый вход контроллера, преобразуется в цифровой вид и далее передается по сети через компьютер оператора в SCADA-систему.

Программная часть системы реализована на базе программного комплекса КОНТАР АРМ, который является гибкой автоматизированной рабочей станцией оператора, предназначенной для решения широкого круга задач диспетчеризации.

Связь ПЛК КОНТАР МС8 с компьютером осуществляется через Master-контроллер по интерфейсу Ethernet. Master-контроллер оснащен встроенным submodule WebLinker. Программа состоит из двух основных частей – серверной и клиентской. Серверная часть отвечает за обмен информацией с контроллерами, клиентская – за составление проекта и его визуализацию.

Программа выполняет следующие функции:

- отображение текущего значения уровня шума;
- отображение графика изменения уровня шума во времени;
- сохранение результатов измерения;
- просмотр предыдущих измерений;
- экспорт данных в другие приложения;
- формирование отчетов;

На рис. 5 приведен пример просмотра графиков архивируемых параметров.

Таким образом, реализована автоматизированная система мониторинга и управления процессом получения НВ, которая на основании анализа акустического сигнала, издаваемого мельницей, позволяет судить об эффективности процесса производства, дает возможность оператору вести наблюдение в режиме реального времени и вносить управляющие воздействия, оказывающие непосредственное влияние на качество готовой продукции.

Система мониторинга и поддержки принятия решения процесса производства НВ на основе анализа шума, издаваемого мельницей, позволяет регулировать кинетику получения вяжущего на основе различных сырь-

евых компонентов и управлять технологией производства НВ.

- Внедрение системы мониторинга дает возможность:
- снизить энергозатраты на производство НВ на 15–20% за счет общего сокращения времени процесса;
  - сократить технологические этапы перехода на новый тип сырья;
  - обеспечивать оперативность контроля и управляющих воздействия в процессе производства, включая нештатные ситуации.

*Данная работа выполнена при финансовой поддержке в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. по лоту «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области нанотехнологий и наноматериалов» шифр (2010-1.1-207-075) по теме «Создание нового класса минеральных наноструктурированных вяжущих неидратационного типа твердения для производства высококачественных строительных материалов различного функционального назначения» (шифр заявки 2010-1.1-207-075-134).*

**Ключевые слова:** наноструктурированное вяжущее (НВ), система мониторинга и управления, кинетика помола, механоактивация.

**Список литературы**

1. Коновалов В.М. Энергетические затраты при производстве ячеистых бетонов // Строит. материалы. 2003. № 6. С. 6–8.
2. Кузьмина В.П. Механоактивация цементов // Строит. материалы. 2006. № 5. С. 7–9.
3. Череватова А.В. Шаповалов Н.А., Строкова В.В. Управление структурой и свойствами высококонцентрированных дисперсных систем с использованием нанопроцессов и технологий // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 17–19.
4. Мирошников Е.В., Строкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В. Наноструктурированное перлитовое вяжущее и пенобетон на его основе // Строит. материалы. 2010. № 9. С. 105–106.
5. Гельфанд Я.Е., Гинзбург И.Б. Автоматическое регулирование процессов дробления и помола в промышленности строительных материалов. Л.: Стройиздат, 1969. 173 с.



УДК 691.161

Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ, канд. техн. наук, В.В. КАМЕНЕВ, инженер,  
В.Л. ШЛЯФЕР, инженер, Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет (МАДИ); В.В. ЕРМОЛАЕВА, канд. техн. наук,  
Саратовский государственный технический университет (Саратов)

## Автоматизация управления подвижностью цементобетонных смесей при их дискретном производстве

Современный уровень автоматизации технологических процессов производства цементобетонных смесей характеризуется применением высокоточных и высоконадежных средств измерения и управления, качественным информационно-телекоммуникационным обеспечением, развитыми системными свойствами. Практически решены задачи автоматического управления дозирующими устройствами исходных компонентов, а также непрерывного управления процессом перемешивания цементобетонной смеси в реальном времени.

Технологический процесс приготовления партии замесов до сих пор может быть представлен лишь на уровне человеко-машинной системы «оператор–система управления выходным параметром цементобетонной смеси». Оператор продолжает играть решительную роль и нести полную ответственность за выходные параметры цементобетонной смеси.

Повышение уровня автоматизации до признаков «безлюдного производства» должно происходить в плане совершенствования математического и алгоритмического обеспечения мониторинга и управления выходным параметром цементобетонной смеси для ее дискретного производства. Необходимо учесть специфику технологического процесса приготовления замесов как априорно неопределенного процесса с высоким риском начального и случайного смещения управляющего параметра, непрогнозируемого дрейфа измеряемого сигнала о выходном параметре.

В целом процесс обладает свойствами наблюдаемости и управляемости, однако применяемые и совершенствуемые алгоритмы регулирования на основе обратной связи для достижения требуемой эффективности управления должны обладать и другими требуемыми системными свойствами гибкости и адаптивности, быть слабо зависимыми от результатов измерения в виде случайных выбросов.

Актуальность темы — необходимость решения многих практических задач автоматизации цементобетонных заводов, к числу которых относится использование технологий, методов исследования и технической реализации производственных процессов, ориентированных на высокую степень автоматизации и технологичности. Процессы, реализуемые на современных цементобетонных заводах, связанные с управлением, в той или иной степени могут быть отнесены к классу априорно неопределенных объектов управления, в которых непредсказуемая погрешность выходного параметра может быть компенсирована регулированием (коррекцией) управляющего параметра [1].

С учетом результатов известных исследований обосновывается, что начальная (априорная) неопределенность процесса в значительной мере не позволяет точно прогнозировать оценку выходного параметра (подвижность) в последующих замесах в реальном времени производства с регулированием.

К технологическим свойствам цементобетонной смеси относят транспортируемость, плотность, удобоукладываемость, воздухововлечение. Вариации размерно-механических и физико-химических свойств исходных материалов связаны с неоднородностью минеральных материалов по зерновому составу, влажности и иным показателям. Возможны отклонения в дозировке материалов, вариации температуры и др.

Приготовление смеси включает подготовку материалов, дозирование и перемешивание, подготовку растворов химических добавок с растворением в воде твердых, пастообразных или жидких продуктов, с доведением раствора до заданной концентрации и температуры. Приготовление добавок осуществляют в емкостях, снабженных системой трубопроводов для перемешивания сжатым воздухом, а при необходимости паровыми установками для подогрева. Приготовленные добавки подают в расходную емкость с датчиком уровня, и по мере необходимости через дозатор в бетоносмеситель.

Важный технологический передел — дозирование материалов. На цементобетонных заводах используют в основном весовые дозаторы: цемент, воду и добавки подают с погрешностью до  $\pm 1\%$ , заполнители — до  $\pm 2\%$ . Точность дозирования определяет требуемую точность расчетов состава бетона; расход цемента указывают с погрешностью до 5 кг, воды — до 2 л (для полевых составов до 5 л), песка и щебня — до 10 кг.

Одна из важнейших проблем эффективной эксплуатации цементобетонных заводов — создание и использование систем автоматического мониторинга и управления подвижностью цементобетонных смесей (САМУП). САМУП — качественно новая структура, отличающаяся своей идеологией, методологией и техническими средствами. В основе ее организации — модульно-иерархический принцип. Одной из главных целей ее применения является дискретное управление подвижностью на основе алгоритмов обратной связи.

Функции системы САМУП, подлежащие автоматизации, подразделяют на производственные и информационные. На этапе разработки системы наиболее важным и сложным является выбор комплекса технических средств, обеспечивающего решение всех задач. Необходим синтез структуры комплекса этих средств с учетом динамики развития, когда оптимизируется число узлов систем, реализация и распределение функций, обеспечивающих эффективность и гибкость контроля.

Авторами предложена модернизация трехуровневой иерархической структуры системы управления дискретным производством цементобетонных смесей (рис. 1). Учтены стадии технологических операций и процессов мониторинга и управления: подготовка сырья, дискретное дозирование компонентов смеси, дискретное их смешивание, адаптивный мониторинг и управление по обратной связи, выдача готовой продукции.



Рис. 1. Иерархическая блочно-модульная система управления дискретным производством цементобетонных смесей

В состав технологических блоков входят группы однотипных аппаратов (дозаторы и смеситель). На верхнем (третьем) уровне функционирует автоматизированная система управления дискретным производством цементобетонных смесей на базе вычислительного комплекса для выбора используемого вида сырья. На среднем (втором) уровне информационно-управляющая система с введенным в нее контролем и регулированием выходных параметров (подвижностью) функционирует с согласованием стадий технологического процесса. На нижнем (первом) уровне – блоки реализации технологических стадий и процессов управления дискретным производством цементобетонных смесей. Отдельно представлена обратная связь дискретного межциклового регулирования управляющим параметром (дозатором воды или химической добавки) на основе информации о состоянии подвижности предыдущих замесов цементобетонных смесей.

В качестве измерителя используют замес смеси, приготавливаемый на типовом автоматизированном цементобетонном заводе. Процесс рассматривают с позиции системного подхода как «черный ящик».

Предполагается для анализа числовых рядов входных, технологических и возмущающих факторов и параметров различной природы, а также различных показателей выходных параметров использовать методический подход Невельсона–Катковника, основанный на выделении из числового ряда детерминированных, коррелированных и собственно случайных составляющих. Авторами проводится модернизация этого методического подхода и с учетом особенности цементобетонной смеси как объекта регулирования предлагается ввести наладочную составляющую.

Задача исследования – построение модели образования отклонений выходного параметра от цикла к циклу замесов смеси. Технологический процесс рассматривается как переменнo-нестационарный с изменяющимися характеристиками (структурой и параметрами) модели.

Задача математической модели процесса образования выходного параметра включает статистический метод. Модель образования отклонения выходного параметра строят при имитации реальной последовательности выходного параметра, полученной без регулирования. Для описания процесса обработки партии замесов приемлема обобщенная модель, модернизация которой предлагается авторами, где отклонение  $x_n$  контролируемого параметра в  $n$ -м цикле замесов от своего номинального значения представляется суммой **четырёх** составляющих: наладочной  $\lambda_n$ , детерминированной составляющей  $I_n$ , переменной случайной составляющей  $\mu_n$  с коррелированными значениями и собственно случайной составляющей  $\xi_n$  (типа дискретного белого шума):

$$X_n = \lambda_n + I_n + \mu_n + \xi_n. \quad (1)$$

Под наладочной составляющей понимают значение и тенденцию доли выходного показателя (подвижности), связанные с погрешностью выбора середины диапазона управляемости управляющего параметра и сигнальной границы выходного параметра, погрешностью линейного или нелинейного приведения выходного показателя к формуле исходного моделирования и, самое главное, к погрешностям, связанным с начальным и случайно изменяющимся в процессе приготовления партии замесов цементобетонной смеси уровнем настройки управляющего параметра.

Природа возникновения составляющей  $\mu_n$  вызвана действующими от цикла к циклу медленно изменяю-

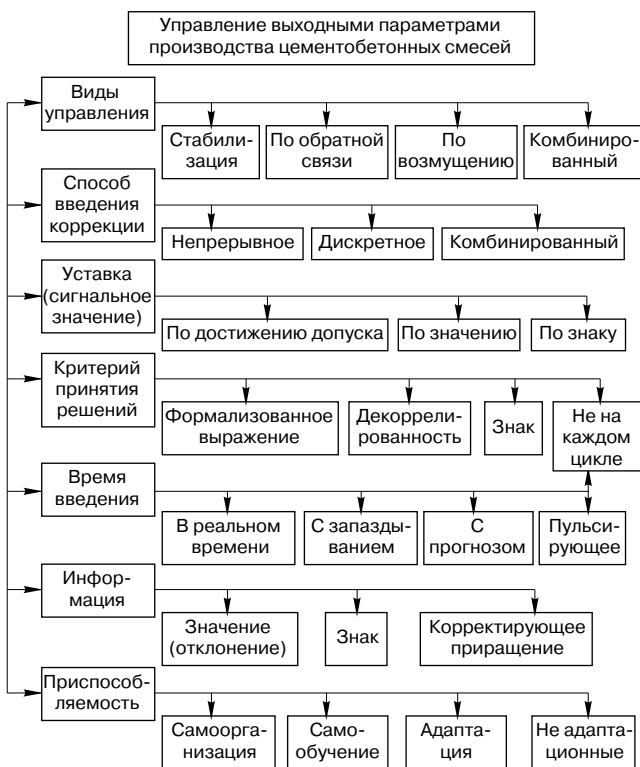


Рис. 2. Классификация методов управления подвижностью цементобетонной смеси

щимися возмущающими воздействиями, а составляющей  $\xi_n$  – совокупным действием собственных случайных составляющих возмущающих факторов. Принимается, что последовательность  $\xi_n$  независимо от  $n$  распределена, как правило, по закону нормального распределения с  $M\{\xi_n\}=0$  и  $G_{\xi_n}=const$ , не зависящей от  $n$ . Последовательность  $\mu_n$  является последовательностью стационарных коррелированных величин с нулевым математическим ожиданием и корреляционной функцией [1]:

$$K_{\mu_n}(\tau) = G_{\mu_n}^2 \cdot \rho_{\mu_n}(\tau), \quad \tau=1, 2, \dots, \quad (2)$$

где  $\tau$  – целочисленный сдвиг (на количество циклов обработки);  $\rho_{\mu_n}(\tau)$  – нормированная корреляционная функция;  $G_{\mu_n}^2$  – дисперсия функциональной случайной составляющей:

$$M\{\mu_n\}=0, \quad n \gg 1. \quad (3)$$

В управляемом процессе дискретного производства отклонение  $X_n^*$ :

$$X_n^* = U_n + I_n + \mu_n + \xi_n, \quad (4)$$

где  $U_n$  – управляющее смещение уровня настройки оборудования может быть представлено как сумма всех корректирующих приращений регулирования:

$$U_n = \sum_{i=1}^n A_i. \quad (5)$$

Для соседних циклов замесов формула (5) имеет вид:

$$U_n = U_{n-1} + A_n. \quad (6)$$

Основная формула моделирования процесса управления (без приведения):

$$X_n^* = X_n - U_n. \quad (7)$$

В соответствии с определением пульсирующих коррекций как смещений относительно одной сигнальной границы, при которых осуществляют корректирующее приращение после каждого цикла со знаком, обратным знаку отклонения выходного параметра, имеем:

$$sign A_n = -sign X_{n-1}^*, \quad (8)$$

где  $sign$  – символ знака отклонения;  $X_{n-1}^*$  – измеренное отклонение подвижности цементобетонной смеси, приготовленной с коррекцией управляющего параметра.

В способах пульсирующих подналадок корректирующее приращение формируется на основе анализа измеренных величин отклонений выходного параметра (знаков и сочетаний знаков отклонений) всех предыдущих замесов и учета введенных ранее корректирующих приращений:

$$A_n = F(A_{n-1}, A_{n-2}, \dots; X_{n-1}^*, X_{n-2}^*, \dots), \quad (9)$$

где  $F$  – функциональное преобразование.

Линейный стационарный пульсирующий алгоритм регулирования по обратной связи имеет вид:

$$A_n = \left| \sum_{l=n-m}^{n-1} a_l \cdot A_l + \sum_{l=n-m}^{n-1} b_l X_l^* \right| \cdot (-sign X_{n-1}^*), \quad (10)$$

где  $m$  – зависящее от размера скользящей выборки целое число;  $l=n-m, \dots, n-1$  – совокупность целых чисел от  $n-m$  – до  $n-1$ ;  $a_l$  и  $b_l$  – весовые коэффициенты (коэффициенты алгоритма регулирования).

Рассматривается основная формула знакового регулирования:

$$A_n = a_n \cdot |A_{n-1}| \cdot (-sign X_{n-1}^*), \quad a_n = r^{n-1}, \quad 1 < r < 3. \quad (11)$$

Эффективность управления характеризуется величиной дисперсии отклонений выходного параметра. Оптимизация процесса может осуществляться из условия минимизации второго момента (принцип Тейлора):

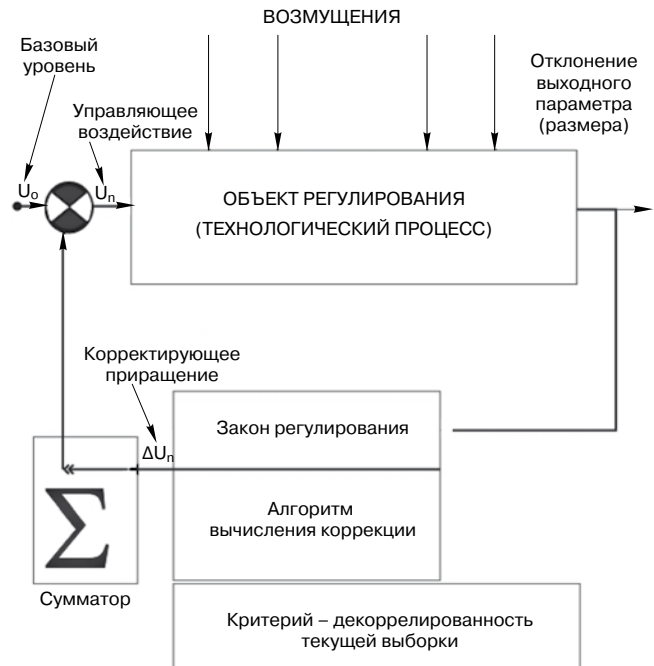


Рис. 3. Алгоритм управления по обратной связи

$$m^2 X_n^2 + G_{X_n^*}^2 = \min. \quad (12)$$

В отдельных случаях в качестве оценки показателя точности управляемого процесса может использоваться количество отклонений, вышедших за поле допуска (доля брака) – принцип взаимозаменяемости по Тагути [1].

Признаком случайных составляющих является их статистическая независимость, некоррелированность. В качестве критерия разделения предлагается степень коррелированности отклонений от систематической составляющей. Это формализуется через оператор  $A_n\{y_n\}=u_n$ , где  $A_n\{\}$  – обозначение оператора;  $y_n$  – исходная последовательность выходного параметра;  $u_n$  – преобразованная последовательность. Целью разделения считается выделение систематической составляющей и оценка параметра мгновенного распределения  $\sigma_{мгн}$ .

С точки зрения задач автоматизации и управления могут быть использованы методы управления по обратной связи, по возмущению, методы стабилизации, комбинированные методы. С учетом высокой неопределенности получения достоверных результатов измерения рассматриваются заглубленные методы знаковых адаптивных коррекций переменными корректирующими приращениями управляющего параметра, например **массовой доли воды или пластифицирующей добавки**. Общее количество влияющих факторов может превышать 300. В процессе производства работ между циклами замесов реализуется процесс измерения выходных параметров приготовленной смеси. Корректирующие приращения формируются также между циклами замесов путем определения величины коррекции управляющего параметра на данном цикле и суммирования его с предыдущим значением управляющего параметра.

Классификация методов управления подвижностью цементобетонной смеси приведена на рис. 2.

Методы адаптации (приспособления алгоритма к изменяющимся условиям технологического процесса) основаны на применении оценок декоррелированности процессов дискретного управления выходным параметром (подвижностью). Используются заглубленные алгоритмы, гарантирующие достижение положительного результата управления.

Графическое представление	Наименование схемы	Число знако-чередований	Относительное число знако-чередований	Число одинаковых знаков	Оценка коэффициента корреляции
	-- -образная	0	0	5	1
	Г-образная	1	0,2	4	0,71
	^S-образная	1	0,2	3	0,71
	V <sup>II</sup> -образная	2	0,4	4	0
	^V-образная	2	0,4	4	0
	^W-образная	2	0,4	3	0
	и <sup>I</sup> -образная	3	0,6	3	-0,71
	WV-образная	3	0,6	3	-0,71
	VV-образная	4	0,8	3	-1
	S <sup>I</sup> -образная	1	0,2	3	0,71
	^L-образная	1	0,2	4	0,71
	^V <sup>I</sup> -образная	2	0,4	4	0
	U-образная	2	0,4	3	0
	W <sup>I</sup> -образная	2	0,4	3	0
	и <sup>I</sup> -образная	3	0,6	3	-0,71
	vL-образная	3	0,6	3	-0,71

За критерий принимается оценка нормированного коэффициента корреляции знаков выходных показателей смеси в текущем цикле в виде относительного числа знакочередований. Используется алгоритм знакового адаптивного пульсирующего регулирования между циклами дискретного производства цементобетонных смесей. Корректирующие переменные приращения в качестве закона управления испытывают изменения: увеличиваются, оставляются прежними, уменьшаются. Масштаб изменения принимают равным двум; коэффициент знакового регулирования может принимать значения -2; -1; -0,5 (или, упрощенно, 2; 1; 0,5).

Данный алгоритм принципиально отличается от алгоритма пропорционального адаптивного пульсирующего регулирования корректирующими переменными приращениями, где необходимо измерять собственные значения выходного параметра, а для знаковых необходимо регистрировать состояния входного параметра. Под выходными состояниями понимают бинарные 1; -1 и светофорные 1; 0; -1.

Математическая модель имеет природу вычислительного процесса, поэтому традиционные методы исследования моделей автоматического управления (преобразование Лапласа) неприменимы в связи с нелиней-

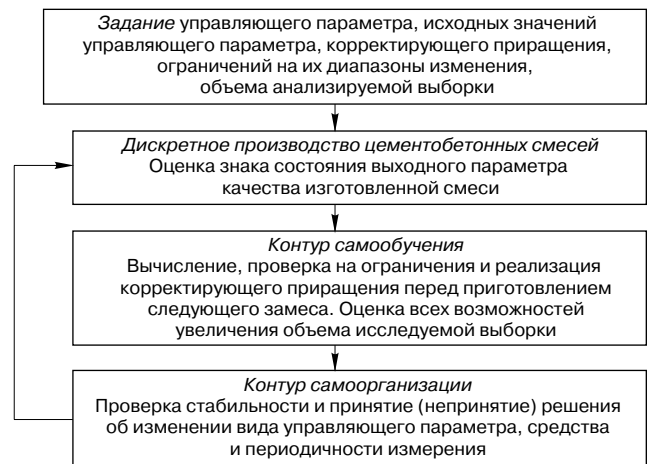


Рис. 4. Укрупненная схема переходного-структурного алгоритма адаптивного знакового пульсирующего регулирования

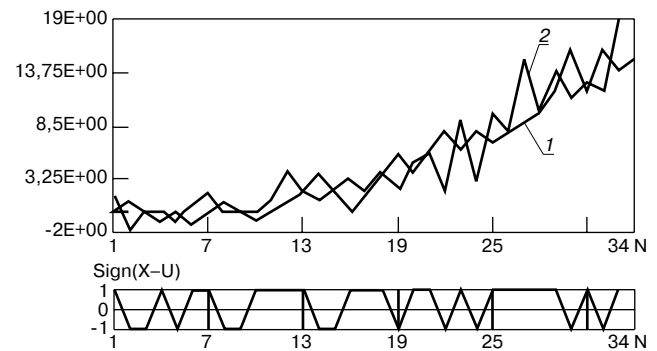


Рис. 5. Результаты моделирования алгоритма знакового регулирования: 1 -  $U_n$ ; 2 -  $X_n$

ностью процесса управления, пороговым и фазовым (изменением знака) изменением состояния вычислительного процесса.

При управлении получается числовой ряд результатов скорректированных замесов, центрированный ряд выходного параметра замесов (подвижности). Формируются графики импульсов регулирования и результат текущего их суммирования в виде уровня настройки управляющего параметра (количество воды или добавки, отмеряемое дозатором).

Используют пакеты Excel и Statistica, в том числе подпрограммы вычисления автокорреляции, определения среднеквадратического отклонения, дисперсии, матрицы и коэффициента множественной корреляции, закон распределения, анализ законов распределения и др. Совокупное влияние всех случайных факторов приводит к тому, что случайная составляющая выходного параметра имеет распределение, не противоречащее нормальному.

Важная особенность алгоритмов мониторинга и управления – сохранение эффективности при случайных изменениях условий приготовления цементобетонных смесей. В общем случае различают два принципа уменьшения отклонений с помощью системы автоматического контроля. Принцип компенсации возмущений заключается в управлении процессом в зависимости от результатов измерения на входе факторов, которые вызывают появление определенных составляющих отклонений выходного параметра. Принцип по обратной связи основан на измерении отклонения выходного параметра от заданного значения и управления процессом в зависимости от регистрируемого отклонения (рис. 1). Адаптивное регулирование основано на придании системе мониторинга и управления свойств, позволяющих автоматически корректировать управляющий па-



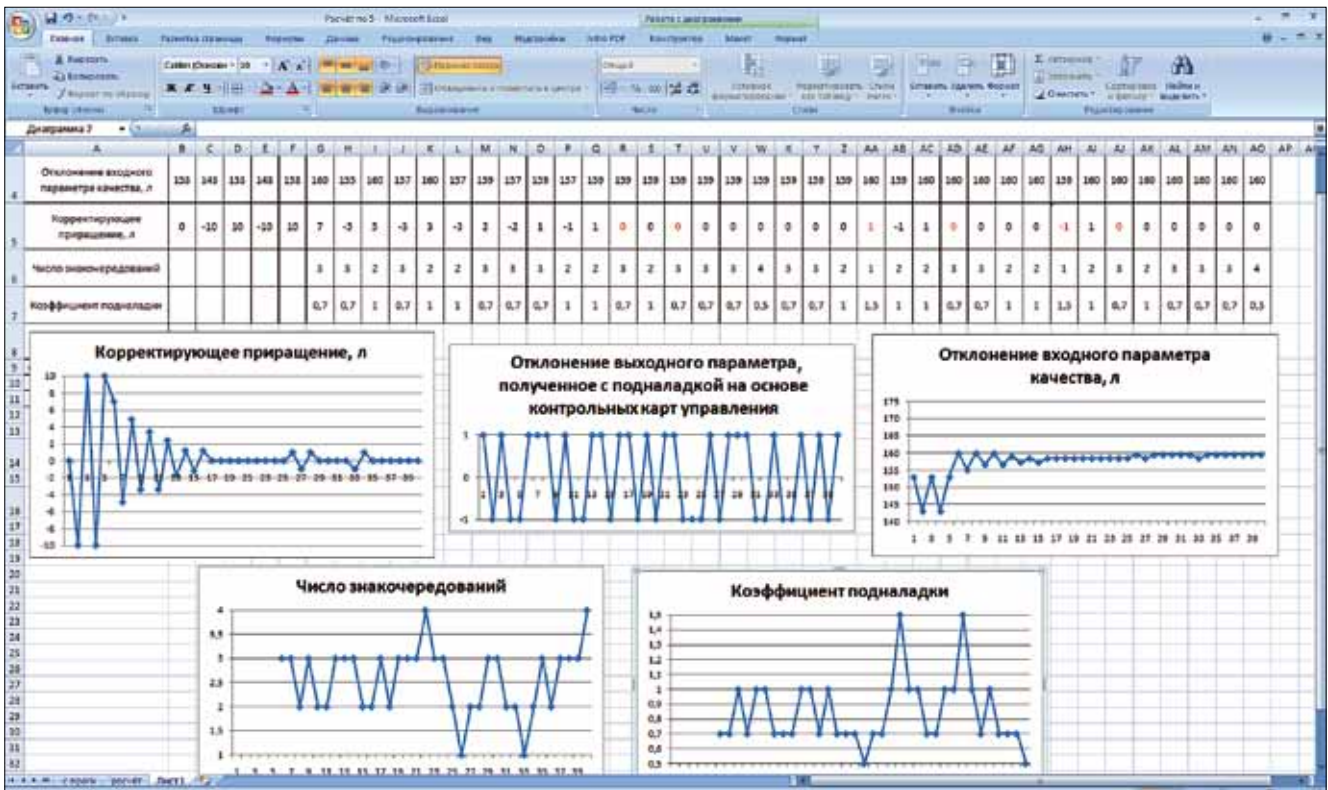


Рис. 6. Визуализация отладочного режима

раметр или величину коэффициента обратной связи в ходе технологического процесса по результатам текущей оценки выходного параметра (коэффициента регулирования). Под регулированием понимают автоматическую коррекцию управляющего параметра в текущем цикле на основе данных об отклонениях выходного параметра в предшествующих циклах замеса (рис. 3).

Алгоритмы регулирования процессов, как правило, основываются на определении знака и измерении величины отклонения индикативного параметра от выбранного его сигнального значения, а также на внесении коррекции в настроечный параметр процесса. Во всех случаях единичный случайный выброс выходного параметра должен отсеиваться алгоритмом и не приводить к существенной раскачке процесса.

Все адаптивные знаковые алгоритмы сохраняют основной признак: знак корректирующего приращения противоположен знаку определенного в данном цикле отклонения выходного параметра от сигнальной линии, а величина приращения не зависит от сигнальной границы и величины этого отклонения. В отличие от базового алгоритма знакового регулирования и ее вариантов величина корректирующего приращения не остается постоянной, а определяется последовательностью предыдущих знаков отклонений.

При практической реализации алгоритмов управления вычисляют его оценки в зависимости от знаков выходного параметра. Авторами разработан новый параметр – относительное число знакопеределаний. Нормированный коэффициент корреляции может вычисляться по нескольким предыдущим циклам (таблица). Корректирующее переменное приращение  $A_n$  и уровень  $U_n$  настройки управляющего параметра имеют вид:

$$A_n = |A_{n-1}| \cdot a_{n-1} \cdot \text{sign} X_{n-1}^* ; \quad U_n = U_{n-1} + A_n, \quad (13)$$

где  $a_{n-1}$  – коэффициент знакового регулирования, принимающий значения 0,5, 1 и 2;  $\text{sign} X_{n-1}^*$  – знак отклонения в предыдущем цикле;  $n$  – номер цикла.

Авторами предложен переходно-структурный алгоритм по объему выборки анализируемой адаптивной знаковой пульсирующей информации регулирования с ограничениями по переменным корректирующим приращениям и диапазону изменения выходного параметра. Укрупненная схема переходно-структурного алгоритма представлена на рис. 4.

Примеры типовых результатов моделирования алгоритма знакового регулирования приведены на рис. 5.

Подтверждена возможность включения алгоритмов регулирования в структуру типового цементобетонного завода.

Приведены результаты практической реализации и отработки алгоритма адаптивного знакового регулирования на автоматизированном цементобетонном заводе. Эффективность алгоритма подтвердилась для ручного использования контрольных карт управления. Разработан автоматизированный тренажер (рабочее место) для обучения применения алгоритмов знакового пульсирующего регулирования, реализованный в учебном процессе на кафедре ДСМ МАДИ и при повышении квалификации операторов автоматизированного цементобетонного завода.

Уточнена классификация систем автоматизированного управления с учетом новых способов адаптивного знакового пульсирующего регулирования выходного параметра качества цементобетонной смеси. Визуализация отладочного режима практической реализации знакового адаптивного регулирования дискретного производства цементобетонных смесей на основе контрольных карт представлена на рис. 6.

**Ключевые слова:** автоматизация, регулирование, цементобетонная смесь.

**Литература**

1. *Невелсон М.С.* Автоматическое управление точностью металлообработки. Л.: Машиностроение, 1973. 176 с.

А.И. НИЖЕГОРОДОВ, канд.тех.наук, национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет

# Совершенствование технологии обжига вермикулита в электрических модульно-спусковых печах

Эффективность применения новых модификаций электрических модульно-спусковых печей в технологии обжига вермикулита показана автором в ряде работ [1,3,5]. Однако дальнейшая разработка принципа структурной трансформации [4] позволяет повысить КПД таких печей.

Анализируя вопрос о предельном значении термодинамического КПД, обратимся к модели процесса теплоусвоения вермикулита, которому сопутствуют дегидратация и механическая трансформация частиц, находящихся в пространстве температурного поля. На рис. 1 показана схема распределения энергии в процессе теплоусвоения.

Полная энергия теплоусвоения, необходимая для эффективного процесса и получения качественного конечного продукта, равна  $Q_{\Sigma}$ . Усвоенная энергия распределяется на фазовый переход химически связанной воды –  $Q_{\phi}$ , нагрев «сухой» части минерала –  $Q_c$ , перегрев водяных паров –  $Q_n$  и нагрев адсорбированных газов –  $Q_{ag}$ .

В работе [7] показано, что в слюдах адсорбируется окись углерода, образуя сплошные слои молекул, способные совершать работу всучивания. Тогда баланс энергий будет равен [2]:

$$Q_{\Sigma} = Q_{100} + Q_c + Q_{\phi} + Q_n + Q_{ag}$$

где  $Q_{100}$  – энергия теплоусвоения 1 кг концентрата при его предварительном нагревании до 100 °С ( $Q_{100}$  является начальным условием процесса обжига, поэтому в дальнейших расчетах не учитывается).  $Q_c$  – теплота нагрева 1 кг твердой фазы минерала в интервале от 100 °С

до ~750 °С;  $Q_{\phi}$  – теплота фазового перехода химически связанной воды;  $Q_n$  – теплота перегрева водяных паров;  $Q_{ag}$  – теплота перегрева адсорбированных газов.

Установлено [3], что среднее содержание химически связанной воды для ковдорских концентратов составляет примерно 18,4%, для татарских – 20,75%.

Теплота нагрева твердой фазы минерала («сухое» вещество) равна:  $Q_c = (1 - 0,184) c m \Delta T$ , где  $m$  – масса концентрата (1 кг);  $c$  – удельная теплоемкость вермикулита (~860 Дж/кг×°С [2]);  $\Delta T$  – изменение температуры материала при обжиге.

Удельная теплоемкость с увеличивается температуры возрастает на 20–25% [8], поэтому для указанного интервала температур введем поправочный коэффициент  $KT \sim 1,226$ . При этом количество теплоты, усвоенное твердой фазой, равно:

$$Q_c = 0,816 \times 860 \times 1,226 \times 1 \times 650 = 559232 \text{ Дж.}$$

Очевидно, что эта часть теплоты не совершает работу всучивания и полностью рассеивается в окружающую среду (рис. 1).

Тепловая энергия, необходимая для фазового перехода химически связанной воды, определяется исходя из удельной теплоты парообразования –  $c_{no} = 2256 \times 10^3$  Дж/кг [8]:

$$Q_{\phi} = 0,184 c_{no} m = 0,184 \times 2256 \times 10^3 \times 1 = 415104 \text{ Дж.}$$

Теплота перегрева водяных паров определяется с учетом изменения удельной теплоемкости  $c_n$ . В диапазоне от 100 до 750 °С средняя удельная теплоемкость составляет 1903 Дж/кг×°С [8]. Энергия перегрева пара равна:

$$Q_n = c_n m 0,184 \Delta T = 1903 \times 0,184 \times 650 = 227598 \text{ Дж.}$$

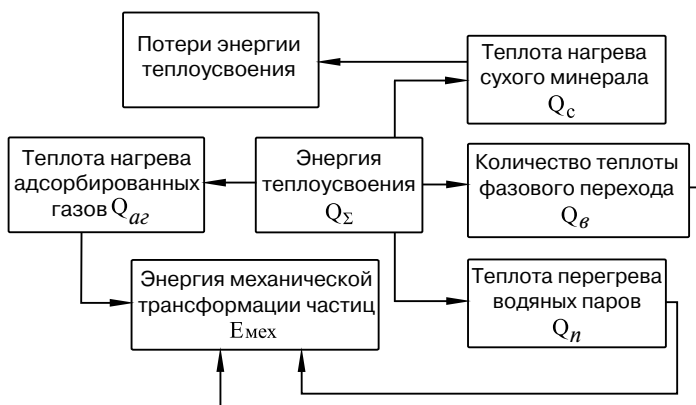


Рис. 1. Схема процессов теплоусвоения, дегидратации и механической трансформации вермикулита.

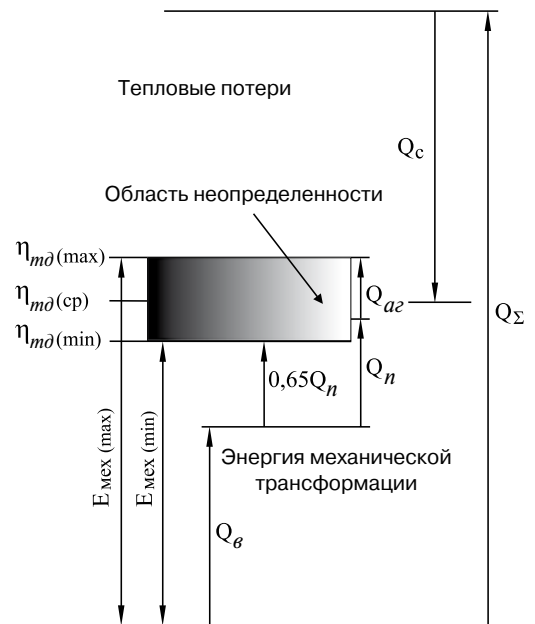


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая интервал границ термодинамического КПД процесса теплоусвоения



Общее количество энергии теплоусвоения 1 кг концентрата без учета теплоты  $Q_{az}$  равно:

$$Q_{\Sigma} = Q_c + Q_g + Q_n = 559232 + 415104 + 227598 = 1201934 \text{ Дж.}$$

Анализ полученного выражения позволяет выделить часть энергии теплоусвоения, идущую на механическую трансформацию вермикулита:  $E_{\text{мех}} \approx Q_g + Q_n$ .

Чтобы перегретый пар мог развивать межслоевое давление, он должен находиться в замкнутых объемах. Структура вспучивающегося вермикулита характеризуется образованием большого количества мелких замкнутых пор, занимающих до 65% площади поверхности вспученных «пакетов» [7]. Очевидно, что внутри этих пор совершается работа пара. Поэтому в формулу механической работы введен коэффициент, учитывающий долю замкнутых пор – 0,65. Тогда:

$$E_{\text{мех(мин)}} = Q_g + 0,65 Q_n = 415104 + 0,65 \times 227598 = 563043 \text{ Дж.}$$

Полученное значение является нижним пределом возможной механической работы, и в этом случае термодинамический КПД будет определяться формулой:

$$\eta_{\text{тд(мин)}} = (Q_v + 0,65 Q_n) / Q_{\Sigma}$$

Численное решение дает минимальные значения термодинамического КПД для ковдорского –  $\eta_{\text{тд(мин)К}} = 0,468$  и татарского  $\eta_{\text{тд(мин)Т}} = 0,496$  концентратов.

Учитывая, что процесс обжига в модульно-спусковой печи длится всего 2,5–2,7 с, возможно, что 100% тепловой энергии перегретого пара совершают механическую работу. В этом случае выражение термодинамического КПД примет вид:

$$\eta_{\text{мд}} = (Q_g + Q_n) / Q_{\Sigma}$$

а численные значения будут равны: для ковдорского –  $\eta_{\text{мдК}} = 0,535$ ; для татарского –  $\eta_{\text{мдТ}} = 0,568$ .

Опыты И. Ленгмюра и К. Бауна [7] показали, что количество удаляемых при нагревании воды и углекислого газа соответствует двум слоям молекул воды и одному слою молекул газа. Это позволяет предположить, что и перегретый углекислый газ может совершать механическую работу. Исходя из соотношения слоев молекул можно приближенно принять  $Q_{az} = 0,5 Q_n$ . Тогда формулу для максимального значения термодинамического КПД можно записать в виде:

$$\eta_{\text{мд}} = (Q_g + Q_n + 0,5 Q_n) / (Q_{\Sigma} + 0,5 Q_n)$$

а численные значения будут равны: для ковдорского –  $\eta_{\text{мд(макс)К}} = 0,575$ ; для татарского –  $\eta_{\text{мд(макс)Т}} = 0,608$ .

На рис. 2 показана схема, иллюстрирующая возможность получения большей механической работы при учете полного преобразования тепловых энергий перегретого пара и адсорбированных газов в работу вспучивания.

Здесь возникает область неопределенности: если минимальное значение термодинамического КПД вполне обоснованно, то его максимальное значение определено лишь со значительной долей вероятности. Тем не менее среднее значение в интервале между нижней и верхней границами можно принять как ориентировочное для установления критерия эффективности печей обжига вермикулита любых типов: для ковдорского  $\eta_{\text{мд(ср)К}} = 0,52$ ; для татарского  $\eta_{\text{мд(ср)Т}} = 0,55$ .

Рассматривая печь как тепловую машину, совершающую механическую работу вспучивания и трансформацию формы частиц исходного материала, представим уравнение баланса энергий в виде:

$$E_{\text{под}} = E_{\text{ус}} + E_{\text{нм}}$$

где  $E_{\text{под}}$  – подводимая (потребляемая) к печи электрическая энергия;  $E_{\text{ус}}$  – тепловая энергия, усвоенная вермикулитом в процессе обжига;  $E_{\text{нм}}$  – потери энергии излучения температурного поля.

Энергия, усваиваемая вермикулитом за один час работы печного агрегата:

$$E_{\text{ус}} = E_{i(j)} \Pi$$

где  $\Pi$  – производительность печи ( $\text{м}^3/\text{ч}$ );  $E_{i(j)}$  – удельная энергия теплоусвоения в пересчете на  $1 \text{ м}^3$  вспученного материала ( $i$  – размерная группа и  $j$  – вид концентрата).

Связь подводимой энергии и энергии теплоусвоения можно выразить не учитывая потери излучения через КПД модульно-спусковой печи:

$$\eta_n = E_{\text{ус}} \eta_{\text{мд}} / E_{\text{под}} = E_{i(j)} \Pi \eta_{\text{мд}} / 3I_{\text{на}} U 3600.$$

Физический смысл коэффициента полезного действия  $\eta_n$  заключается в установлении доли общего объема потребленной (подводимой) энергии, затраченной на механическую работу вспучивания.

В работе [5] показано, что для трехмодульной печи с оптимальным режимом обжига  $t = 2,7 \text{ с}$ ,  $T = 762 \text{ }^\circ\text{C}$  коэффициент полезного действия достигает экстремального значения  $\eta_n = 0,232$ .

Первая структурная трансформация [4], связанная с удвоением количества модулей, приводит к увеличению КПД до 0,312 при оптимальном соотношении  $t = 2,72 \text{ с}$  и  $T = 756 \text{ }^\circ\text{C}$ . Эффект достигается за счет существенного снижения суммарной площади рабочих поверхностей модулей и, как следствие, снижению потребляемой мощности на 30–35%.

Вторая трансформация шестимодульной печи [4] изменяет ее конструктивную структуру, образуя печь с последовательно-параллельным сопряжением модулей (ППС-печь), рис. 3.

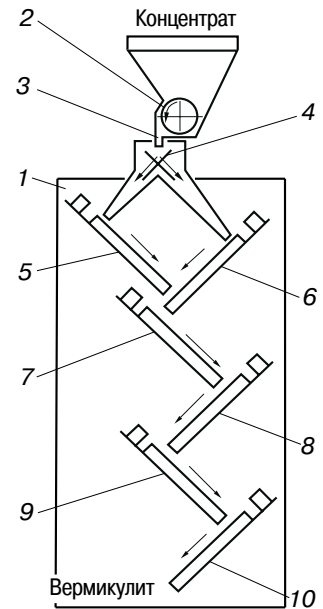


Рис. 3. Печь с последовательно-параллельным сопряжением модулей.

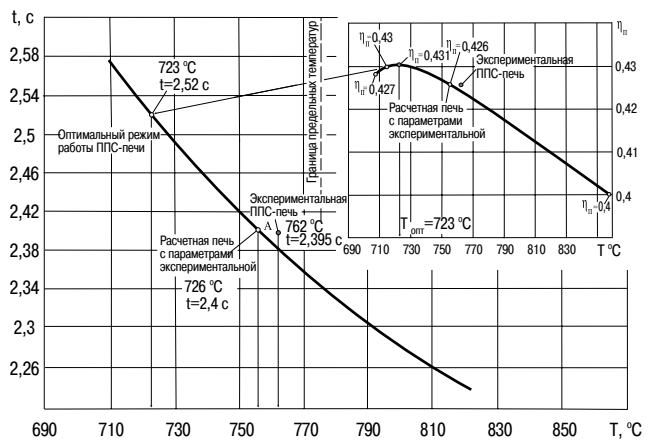


Рис. 4. Зависимости времени обжига и КПД печи от температуры.

	Порядковый номер модуля					
	1	2	3	4	5	6
КПД i-го модуля трехмодульной печи (КВК-4)	0,206	0,0159	0,00398	–	–	–
КПД i-го модуля шестимодульной печи (КВК-2)	0,169	0,0382	0,0143	0,0072	0,00211	0,00084

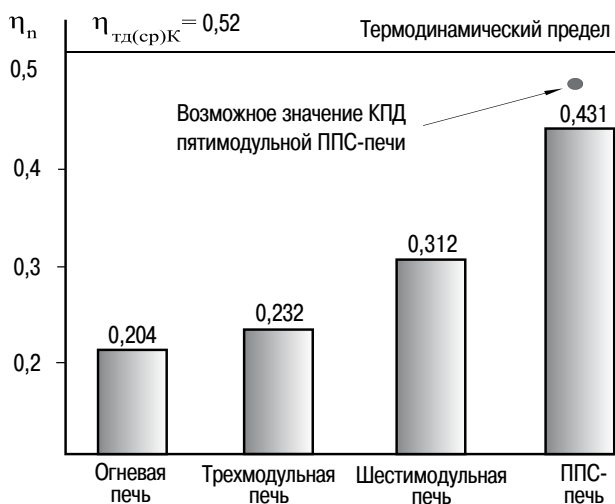


Рис. 5. Гистограммы значений КПД печных агрегатов

Здесь дозатор 2 по каналу 3 подает сырье на делитель потоков 4. Концентрат распределяется по верхним параллельно сопряженным модулям 5 и 6, размещенным в корпусе 1. Далее в процессе обжига вспучивающиеся частицы материала пересыпаются по модулям 7, 8, 9 и 10.

В табл. 1 показано распределение КПД по модулям печей.

Из данных таблицы следует, что энергетическая эффективность первых (верхних) модулей намного больше, чем последующих.

Исследование термодинамики процесса, проведенное по методу, приведенному в работе [5], позволило построить зависимости, показанные на рис. 4.

Экстремум на графике коэффициента полезного действия показывает, что оптимальный режим работы ППС-печи будет реализован при  $t = 2,52$  с,  $T = 723$  °С, а значение КПД в экстремуме равно 0,431.

Экспериментальная ППС-печь и соответствующая ей по конструктивным параметрам расчетная печь (рис. 4), имеют близкие, но более низкие значения КПД: 0,425 и 0,426 соответственно.

Эффект увеличения КПД достигается за счет увеличения общей подачи концентрата на 33–35% (рост производительности). При этом объемная концентрация материала на каждом из верхних модулей снижается по сравнению с простой шестимодульной печью, что позволяет уменьшить рабочую температуру с 756 до 723 °С и соответственно потребляемую мощность.

Если соотнести значения термодинамического КПД и КПД ППС-печи:

$\eta_{n(ППС)} / \eta_{нд(ср)к} = 0,431 / 0,52 = 0,83$ ,  
можно сделать вывод, что потери подводимой энергии (энергии температурного излучения) составляют всего 17%.

В сравнении с огневыми печами [7, 8], КПД которых не превышает 0,204, а потери энергии температурного излучения составляют ~ 60%, это очень высокий показатель.

На рис. 5 приведены гистограммы значений КПД печных агрегатов.

Такое существенное отличие обусловлено принципом формирования температурного поля в модулях обжига электрических печей.

Если в огневых печах градиент температурного поля в камере обжига достигает 600–700 °С, от 1200 на входе до 500 °С на выходе, то в модульно-спусковых печах он практически не изменяется по всей длине рабочих камер, образованных соседними нагревательными элементами, рис. 6.

В огневых печах пространство температурного поля «расконцентрировано» в большом пространстве печи,

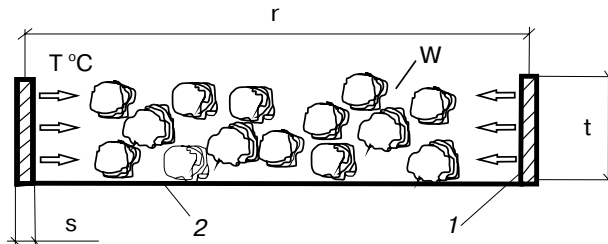


Рис. 6. Поперечное сечение рабочей камеры модуля обжига: 1 -нагревательный элемент, 2 -основание модуля, r -ширина камеры, t и s - высота и толщина нагревательных элементов.

объемная концентрация вермикулита чрезвычайно мала и температурное поле излучает энергию в поток воздуха, создаваемого естественной температурной тягой и работающей форсункой.

В модульно-спусковых печах пространство обжига локализовано и «погружено» в массив движущихся частиц вермикулита (рис. 6), поэтому потери излучения минимальны.

Однако трехмодульные печи из-за значительной площади модулей обжига недостаточно эффективны. Изменение модульности, а затем и структуры сопряжения модулей последовательно приводит ко все большей концентрации энергии температурного поля.

Анализируя температурно-временную зависимость, показанную на рис. 4, можно сделать вывод о возможности третьего структурного преобразования. По предварительным расчетам перевод ППС-печи в режим с температурой 756 °С приводит к увеличению потребляемой мощности на 13,9% и снижению КПД. Устраняя нижний модуль (рис. 3), энергетическая эффективность которого согласно табл. 1 минимальна, мы одновременно снижаем потребляемую мощность на 1/6 или примерно 17%. Следовательно, при неизменной производительности КПД ППС-печи может увеличиться еще на 3,1% (рис. 5).

Окончательный вывод будет сделан после проведения детального аналитического исследования и экспериментальной проверки, но достигнуть термодинамического предела, рис. 5, все-таки невозможно.

**Ключевые слова:** модель; теплоусвоение; печь; вермикулит.

**Список литературы**

1. Зеденизов В.Г., Нижегородов А.И. Эффективность использования многомодульных модификаций электрических печей для обжига вермикулита. // Строит. материалы. 2009. № 12. С. 51–53.
2. Нижегородов А.И. Некоторые аспекты технологии подготовки и обжига вермикулитовых концентратов в электрических печах // Строит. материалы: technology. 2007. №11. С. 16–17.
3. Нижегородов А.И. Вермикулит и вермикулитовые технологии: исследования, производство, применение. Иркутск: Изд-во Бизнес-Строй, 2008. 96 с.
4. Нижегородов А.И. Развитие концепции модульно-спусковых электрических печей для обжига вермикулитовых концентратов. // Строительные и дорожные машины. 2009. № 10. С. 24–27.
5. Нижегородов А.И. Критерии выбора оптимального режима работы электрической модульно-спусковой печи для обжига вермикулита // Строит. материалы: technology. 2010. № 5. С. 78–81.
6. Производство и применение вермикулита. / Под ред. Н.А. Попова. М.: Стройиздат, 1964. 128 с.
7. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. Б.М. Яворский, А.А. Деглаф. М.: Наука, 1968. 940 с.

А.Р.МУРЗАКОВА, канд. техн. наук, У.Ш. ШАЯХМЕТОВ, д-р техн. наук, Научно-производственный институт инновационных технологий Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы;  
К. А. ВАСИН, канд. техн. наук, ГУП «БашНИИстрой», В.С. БАКУНОВ, д-р хим. наук, Объединенный институт высоких температур РАН

## Разработка технологии получения эффективного строительного пористого тепло- и звуко-изоляционного конструкционного материала

Известно, что все керамические материалы делят на две группы (в зависимости от пористости) – пористые (с водопоглощением более 5%) и плотные (с водопоглощением менее 5%) [1]. Обычный строительный кирпич имеет довольно большую теплопроводность, поэтому приходится возводить наружные стены большей толщины, чем это требуется по расчету на прочность. В подобных случаях более эффективно применение не столь прочного, но менее теплопроводного пустотелого, пористо-пустотелого и легкого кирпича [2].

Материалы, одновременно сочетающие легкость, малую теплопроводность с достаточной конструкционной прочностью, следует рассматривать как наиболее перспективные, прежде всего для строительной отрасли, поскольку при возведении домов, промышленных зданий одним из важных аспектов в подборе материалов являются повышенные тепло- и звукоизоляционные свойства [3–7]. В настоящее время наиболее полно этим требованиям отвечают высокоэффективные пористые силикатные пеноматериалы: пеностекло, пенокерамика, ячеистые бетоны, пенобетоны и материалы на основе пористых заполнителей. Однако в реальных условиях весьма сложно получить материал, одновременно сочетающий в себе легкость, теплоизоляционные свойства и высокую прочность, поэтому создание таких материалов и эффективных технологий их получения является актуальным вопросом на сегодняшний день.

Авторами разработана энерго- и ресурсосберегающая технология получения строительных пенокерамических материалов, преимуществами которых является легкость, малая теплопроводность, достаточная конструкционная прочность. Производство пористых силикатных материалов по данной технологии характеризуется малой материалоемкостью, возможностью использования отходов промышленности, дешевых местных легкоплавких глин, что делает его экономически эффективным. Перспективность использования пенокерамических материалов в строительстве позволит снизить вес зданий в 2–3 раза при одновременном увеличении термосопротивления стеновых ограждений, увеличить производительность труда при кладке стен при одновременном сокращении расхода цемента.

Представленная технология основана на методе вспенивания в обжиге стеклокристаллической матрицы. При этом образуется ячеистая макроструктура (структура неорганической пены), в которой практически все поры закрыты и не сообщаются друг с другом. Главным достоинством этой технологии является возможность регулирования поровой структуры (количество пор и их размер при неизменном типе пористости – закрытая ячеистая) путем изменения средней плотности материала.

Данная технология осуществляется путем обжига формованного полуфабриката, который может быть произведен как в печах периодического действия (горн или кольцевая печь), так и в современных высокопроизводительных печах непрерывного действия (туннельные вагонеточные или щелевые роликовые). Производство пенокерамических изделий осуществляется по технологическим схемам получения кирпича, плитки или черепицы. Могут использоваться методы полусухого прессования или пластического формования в зависимости от пластичности основного компонента.

При пластическом формовании из смеси глины определенной влажности и необходимых добавок фор-

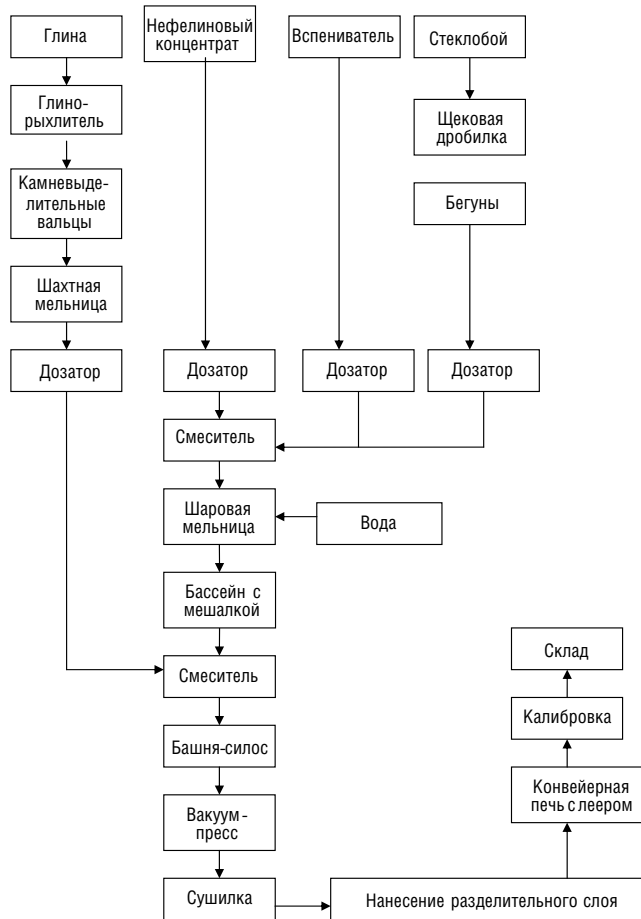


Рис. 1. Технологическая схема производства пористой стеклокерамики пластическим формованием





Рис. 2. Изделия из пенокерамики

мируют брус, который вспучивается и спекается при последующем обжиге. Затем производят раскрой бруса на изделия необходимых форм и размеров, их затаривание и отправление потребителю. Технологическая схема производства пенокерамических материалов методом пластического формования представлена на рис. 1.

Согласно данной схеме глина из приемного бункера через глинорыхлитель и камневывалительные валцы транспортером подается в шахтную мельницу, затем транспортером через бункер-дозатор поступает в двухвалный смеситель. Приготовленную смесь элеваторами загружают в приемные бункеры, и далее, через весовые дозаторы она поступает в шаровые мельницы непрерывного действия, куда подается и вибромолотый вспениватель. Готовая суспензия сливается в бассейны для гомогенизации, оборудованные пропеллерными мешалками. Суспензию из пропеллерных мешалок мембранным насосом через дозатор подают в смеситель одновременно с молотой глиной; в смесителе готовят пластичную массу. Из смесителя масса поступает на переработку в ленточный вакуум-пресс. Полученную массу вылеживают в механизированной башне-силосе, откуда по транспортеру она поступает на вакуум-пресс для формования многопустотного бруса.

От непрерывно формуемого бруса полуавтоматическим станком отрезают заготовки, которые затем по транспортеру поступают в конвейерную сушилку. Противоточный сушильный конвейер работает с использованием тепла отходящих газов. Остаточная влажность высушенного материала не более 0,5%, его температура не более 150°C. Сушка заготовок производится на подвесных люльках. Продолжительность сушки 6 часов, начальная влажность 20%.

Изделия из сушилки поступают на устройство для обмазки, которое предназначено для нанесения суспензии — обмазки разделительного слоя. Обмазка исключает прилипание материала в зоне вспенивания к транспортирующим роликам печи. Суспензия разделительного слоя готовится на шаровой мельнице и состоит из алюмосиликатного сырья и воды. Ее наносят на нижнюю и боковые поверхности изделий высушенных плит, поступающих на обжиг, с помощью pulverизатора или механизированных кистей, внутрь которых подается суспензия. Нанесение разделительного слоя на нижнюю

поверхность производится прокатыванием изделия по насыщенному суспензией поролоновому валику. Нанесенная суспензия сохнет естественным путем за счет повышенной температуры изделий (150°C). В системе подачи суспензии к устройству для нанесения на поверхность изделия предусмотрена ее непрерывная циркуляция в трубопроводе; избыток собирается в бассейне с пропеллерной мешалкой.

Для обжига изделий устанавливаются две туннельные роликовые печи, отапливаемые природным газом. Продолжительность обжига с учетом охлаждения до 600°C — 6 ч (нагрев до 1000°C — 1,5 ч, выдержка — 30 мин, нагрев до температуры вспенивания 1070°C, вспенивание — 45 мин, охлаждение до 600°C — 3 ч). Окончательное охлаждение до комнатной температуры в леере — в течение 20 ч. Выходящие из леера охлажденные готовые изделия подвергаются механической обработке дисковыми пилами (обрезка и шлифование боковых поверхностей и торцов).

Отходы, образующиеся при механической обработке изделий, возвращают на помол в шаровую мельницу.

По данной технологии были получены изделия строительного назначения (рис. 2). В качестве сырья применяли глину Алексеевского и Мелеузовского месторождений Республики Башкортостан.

Сравнительная характеристика произведенных стеклокристаллических изделий и красного строительного кирпича приведена в таблице.

Видно, что стеклокристаллические пеноматериалы в 3–4 раза превосходят показатели теплоизоляционных свойств красного кирпича, в 3–6 раз уступают ему по плотности, в 2 раза превосходят по прочности. Это свидетельствует о том, что полученные стеклокристаллические пеноматериалы могут быть использованы для гражданского или промышленного строительства, особенно малоэтажного в сельской местности или в условиях Севера. Также данные материалы могут применяться в качестве стеновых, конструктивных, звуко-теплоизоляционных, облицовочных, кровельных изделий. Экономическая эффективность их производства обусловлена малой материалоемкостью, меньшими энергозатратами при получении и строительстве, а также повышением эксплуатационных характеристик объектов. Вес стеновых конструкций снижается в 3–4 раза при одновременном увеличении их теплосоппротивления. Это является решающим фактором для экономии топлива при эксплуатации зданий и сооружений.

Таким образом, энерго-, ресурсосберегающая технология производства стеклокристаллической пенокерамики позволит получать высокоэффективные материалы и изделия строительного назначения, отличающиеся высокими эксплуатационными характеристиками, звуко-, теплоизоляционными свойствами. Благодаря своим техническим характеристикам пенокерамические материалы и изделия будут широко востребованы в строительной индустрии.

Свойства и единица измерения	Показатели			
	Кирпич марки 150	Кирпич марки 75	Стеклокристаллические пеноматериалы	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1900	1700	300	600
Предел прочности при сжатии, МПа	15	7,5	3–4	8–12
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,8	0,8	0,2–0,25	0,25–0,3
Морозостойкость, циклы	25	15	25	40–50
Геометрические размеры, см	25×12×6,5	25×12×6,5	50×36×6,5	50×36×6,5
Объем изделия, м <sup>3</sup> × 10 <sup>-6</sup>	1950	1950	11700	11700
Вес изделия, кг	3,7	3,3	3,51	6,4
Кратность, блок/кирпич	–	–	6	6

**Ключевые слова:** пенокерамика, керамические строительные материалы, глина, кирпич.

**Список литературы**

1. Юшкевич М.О., Роговой М.И. Технология керамики. М.: Издательство литературы по строительству, 1969. 175 с.
2. Крупа А.А., Городов В.С. Химическая технология керамических материалов. Киев: Выща школа. 1990. 399 с.
3. Габидуллин М.Г., Хузагарипов А.Г. Способ получения пенокерамических изделий. Патент РФ №2149563 // Опул. 20.03.1009.

4. Беседин П.В. и др. Способ изготовления стеновых керамических изделий. Патент РФ № 2303018 // Опул. 20.07.2007.
5. Шаяхметов У.Ш., Щетинкин В.А. Керпен – эффективный утеплитель и конструкционный материал для строительства // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VI Международной специализированной выставки «Строительство, архитектура, коммунальное хозяйство – 2002». Уфа: Изд-во УГНТУ. С.51–52.
6. Бакунов В.С., Кочетков В.А. и др. Многофункциональный керамический материал – керпен // Строит. материалы. 2004. № 1. С. 10–11.

УДК 622

М.Г. МЕНЖУЛИН, Г.И. КОРШУНОВ, доктора техн. наук, Санкт-Петербургский государственный горный институт; А.А. ЖУРАВЛЕВ, президент ассоциации «Недра» (Москва); П.И. АФАНАСЬЕВ, инженер (afan\_@mail.ru), Санкт-Петербургский государственный горный институт

## Физико-механическое обоснование перехода к ресурсосберегающим технологиям взрывного разрушения горных пород

Горная порода представляет собой неоднородное твердое тело сложной структуры. Механизм разрушения горной породы под действием взрывной нагрузки, которая резко изменяется во времени и пространстве, отличается чрезвычайной сложностью. Существующие проекты буровзрывных работ (БВР) основаны на эмпирических зависимостях, которые учитывают характеристики современных взрывчатых веществ (ВВ). В результате значительная часть минеральных ресурсов переизмельчается или становится негабаритом.

Качество подготовки взорванной горной массы к выемке, включая степень дробления пород, должно обеспечивать ритмичную работу погрузочной техники. Важным резервом повышения эффективности БВР является возможность управления результатами отбойки в зависимости от изменения горно-геологических и технических условий и исключение повреждений охраняемых объектов.

Опыт ведения БВР на карьерах показывает, что за счет учета реальных условий ведения работ можно регулировать качество дробления и значительно улучшить технико-экономические показатели отбойки. Обоснование параметров БВР должно базироваться как на совокупной оценке основных влияющих природных и техногенных факторов, так и на учете неизбежных на практике существенных отклонений фактических параметров от их проектных значений. Решение такой задачи невозможно без расчетов геометрических параметров расположения зарядов, их массы, применяемых взрывчатых материалов, размеров опасных зон, трещиноватости пород, обводненности и других природных факторов.

К приоритетным направлениям расчета параметров взрыва следует отнести выбор рациональной конструкции скважинных зарядов ВВ (рассредоточенный или комбинированный заряды), схем взрывания, а также использование низкобрызгантных ВВ. Увеличение крепости пород ведет к повышению удельного расхода ВВ, что негативно сказывается на выходе переизмельченного продукта. Обводненность пород не позволяет использо-

вать низкобрызгантные ВВ типа игданит и отдельные конструкции скважинных зарядов, например с воздушными промежутками [1]. При производстве взрывных работ на карьерах образуются негабаритные фракции. Выход негабарита – понятие относительное, определяемое емкостью погрузочно-транспортного оборудования и размерами приемного отверстия дробилок. Наличие негабарита требует проведения вторичного дробления. Основной метод вторичного дробления негабаритов (метод накладных зарядов) требует большого удельного расхода ВВ, вследствие чего образуются интенсивные воздушно-ударные волны, воздействие которых может привести к негативным последствиям для находящихся на пути распространения волн зданий и сооружений.

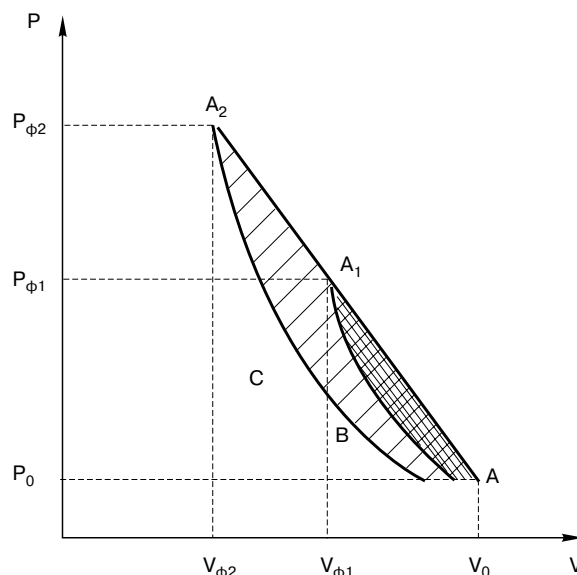


Рис. 1. Статические и ударные адиабаты

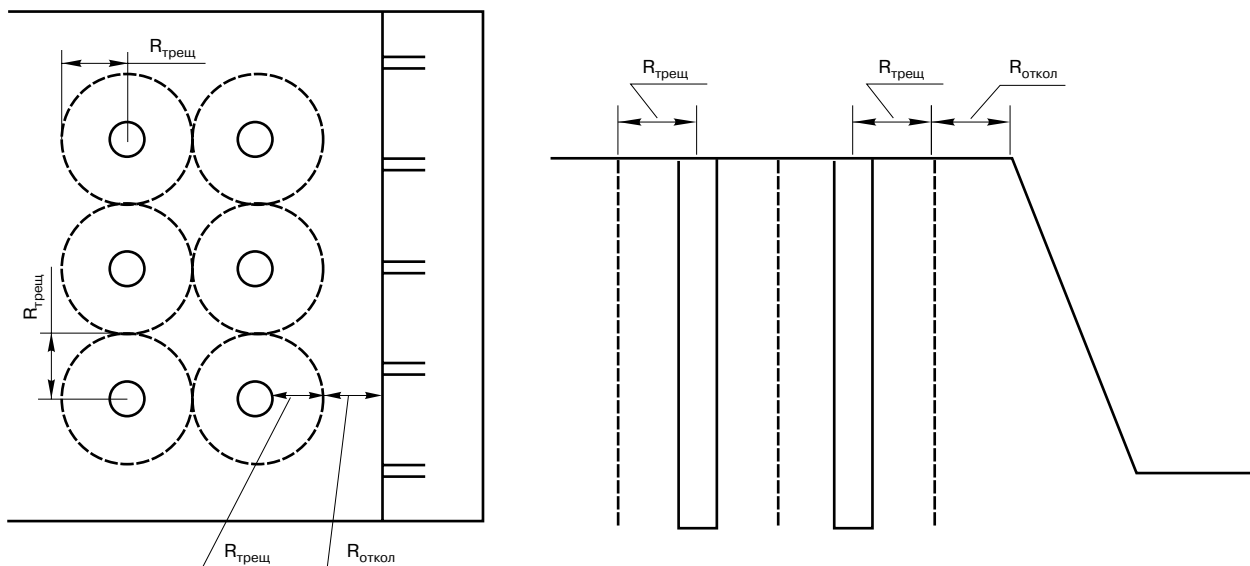


Рис. 2. Радиусы зон трещинообразования ( $R_{трещ}$ ) и откола ( $R_{откол}$ ) при массовом взрыве

Существующие технологии требуют учета установленных фактов разрушения горных пород при совершенствовании качества взрывной подготовки горной массы на карьерах.

Используемые отечественные технологии взрывного разрушения горных пород по качеству дробления, разбросу разрушенной породы, выходу негабаритов и мелкодисперсной фракции и другим показателям часто уступают технологиям, применяемым на зарубежных горнодобывающих предприятиях.

В настоящей работе рассматривается взрывное разрушение горных пород, обеспечивающее уменьшение выхода мелкой фракции и негабаритов, основанное на рассмотрении физических процессов взрывного разрушения, которое необходимо внедрять и использовать.

При взрывании зарядов различных ВВ характер разрушения в ближней зоне неодинаков. Меньшая доля энергии остается в среде при взрыве тех ВВ, у которых меньше скорость детонации. А увеличение скорости детонации сопровождается резким увеличением объемной энергии диссипации (рассеивания) разрушения в непосредственной близости от заряда [2]. Данная энергия при взрывном разрушении расходуется на нагревание частиц породы в ближней зоне и образование трещин, а также на их слияние, что приводит к образованию кусков разрушенной горной массы. Таким образом, на формирование механических возмущений расходуется только часть энергии взрыва, оставшаяся после исключения из общей энергии взрыва энергии диссипации.

На рис. 1 показано, как из начального состояния среды А ( $P_0$  – начальное давление,  $V_0$  – начальный объем) под действием ударного сжатия параметры среды изменяются до состояния  $A_1$  или  $A_2$ . Под состоянием  $A_2$  понимается более бризантное ВВ, а под состоянием  $A_1$  – менее бризантное ВВ. Нагрузка происходит по ударной адиабате. При переходе из состояний  $A_1$  и  $A_2$  после прохождения фронта происходит разгрузка частиц. Разгрузка описывается статической адиабатой. Следовательно, существует разность между энергией, запасенной на фронте, и энергией разгрузки. Эта разность энергий (заштрихованная область) для ВВ с высокими детонационными параметрами А-А<sub>2</sub>-С и для ВВ с низкими детонационными параметрами А-А<sub>1</sub>-В, называется энергией диссипации. Она является остаточной внутренней энергией частиц после

прохождения фронта. Отсюда видно, что ВВ с высокими детонационными параметрами теряет больше энергии, чем ВВ с низкими детонационными параметрами [3].

Зная энергию диссипации, можно определить энергию, участвующую в механической работе, оценить радиальные и тангенциальные составляющие волн напряжения и на их основе рассчитать зоны трещинообразования, дробления и переизмельчения.

Выбор расстояния между рядами скважин и расстояния между скважинами необходимо осуществлять на основе совмещения зон трещинообразования, получаемых при взрыве двух скважинных зарядов (рис. 2). Зона трещинообразования определяется равенством тангенциального напряжения динамическому пределу прочности породы на отрыв. Выбор линии наименьшего сопротивления необходимо осуществлять на основе сложения зоны трещинообразования с откольной зоной. Для уменьшения выхода негабарита в пространстве между первым рядом скважин и откосом уступа необходимо создание гладкого откоса уступа. С этой целью можно применять предварительное щелеобразование. Таким образом, можно оптимизировать гранулометрический состав разрушенной горной массы, уменьшить выход мелких фракций и негабарита и осуществить выбор нужного типа ВВ.

**Ключевые слова:** буровзрывные работы, взрывчатые вещества, энергия диссипации, волны напряжения, трещинообразование.

**Список литературы**

1. Ефремов Э.И., Пономарев А.В. Технология формирования скважинных зарядов ВВ и отбойки обводненных горных пород // Взрывное дело. 2007. Вып. 5. С. 33–40.
2. Менжулин М.Г., Бровин В.Е. Энергетическая эффективность разрушения горных пород при взрыве ВВ с различными детонационными характеристиками // Записки Горного института. 2007. Т. 171. С. 121–125.
3. Менжулин М.Г., Афанасьев П.И., Трофимов А.В. Влияние детонационных параметров взрывчатых веществ на энергетическую эффективность взрывного разрушения горных пород // Записки Горного института. 2010. Т. 186. С. 63–70.



Б.Р. РАКИШЕВ, д-р техн. наук, академик НАН РК, В.В. ПОВЕТКИН, д-р техн. наук, академик МАИ, Казахский НТУ им. К.И. Сатпаева (Республика Казахстан, г. Алматы)

## Современная технология и оборудование для обработки блочного камня

Наиболее прогрессивным методом добычи блочного камня типа ракушечника и мраморов является способ вырезки блоков и плит непосредственно в карьере машинами типа СМ (СМ-89А, СМ-824, СМ-580А и др.) [1, 2].

Процесс, в результате которого придают камню требуемую форму, размер и фактуру лицевой поверхности, включает ряд операций, выполняемых в строгой последовательности различными камнеобрабатывающими станками. На современных предприятиях камень обрабатывают полностью механизированным способом. В зависимости от характера используемого инструмента различают два основных вида обработки – резанием и скальванием [3, 4]. На рис. 1 приведена схема технологического процесса обработки камня.

Обработка резанием позволяет получить высокую производительность, дает меньше отходов и в наибольшей степени допускает автоматизацию. В зависимости от твердости камня используют стальные и твердосплавные резы (на мягких и средней твердости породах), алмазный и карборундовый инструменты (на породах средней твердости и твердых) специальной конструкции.

Парк камнеобрабатывающих станков предприятия обуславливается номенклатурой выпускаемых изделий и спецификой приемов обработки камня различной твердости и структуры.

Внедрение в камнеобработку алмазного инструмента оказало большое влияние на конструкцию распиловочных станков и обусловило изменение скорости резания, подачи, траектории движения, системы охлаждения инструмента и т. д. Внедрение конвейера в процесс шлифования и полирования вызвало необходимость тщательной отработки последовательности смены инструмента и введения твердых полировальников. Использование термогазоструйного способа обработки крепких пород, сохранив принцип скальвания, привело к радикальному изменению применяемого инструмента [5].

Предварительная обработка блоков резанием (распиловка), доставляемых из карьера на камнеобрабатывающее предприятие, является первой операцией технологического процесса.

Распиловка – весьма трудоемкая операция, стоимость которой достигает 20% и более стоимости готовой продукции. Классификация станков приведена в табл. 1 [1, 2, 3].

Станки с маятниковым движением пильной рамы применяют почти исключительно для распиловки кварцита, гранита, сиенита, габбро и других крепких пород (в последнее время бескварцевые породы распиливают также и на станках других типов). Породу распиливают стальными гладкими пилами, под которые непрерывно подают дозированные порциями абразив. К существенным недостаткам маятниковой траектории рамы следует отнести отсутствие постоянного контакта пил с камнем и малую скорость резания.

Синхронное опускание привода распиловочного станка и пильной рамы осуществлено в конструкциях ряда зарубежных фирм. Станки этого типа весьма компактны, но металлоемки и требуют высокой точности изготовления, а также внимательного ухода при эксплуатации вследствие сложности их конструкции. Станки с синхронным опусканием привода и рамы (рис. 2) предназначены для работы большим количе-

Таблица 1

Классификация станков для обработки крепких пород

Станки	Назначение
Рамные распиловочные	
С горизонтальным движением рамы: по маятниковой траектории по сложной траектории	Изготовление облицовочных плит
С вертикальным движением рамы: по прямолинейной траектории по сложной траектории	
Специальной конструкции	
С малым числом пил (треннзеге)	Изготовление облицовочных плит
С дугообразной пилой	
Станки с дисковым рабочим органом	
Одноярусные	Разрезание блоков на бруски
Двухъярусные	
Многодисковые станки	Изготовление облицовочных плит
Станки с гибким рабочим органом	
Канатные пилы со свободным абразивом	Разрезание блоков на бруски и утолщенные плиты
Цепные (баровые) пилы с алмазными зубками	
Ленточные пилы с алмазными зубками	



Рис. 1. Технологическая схема обработки природного камня

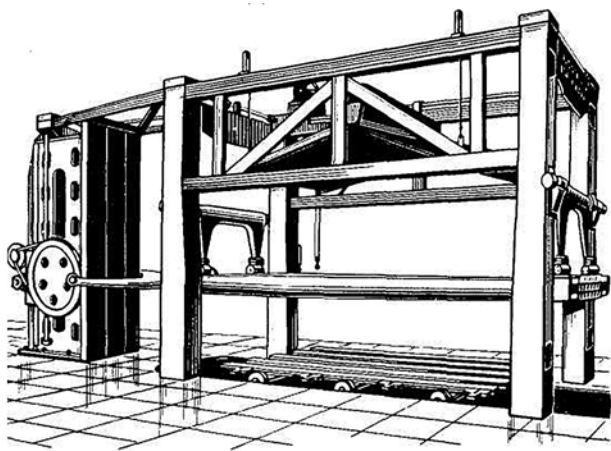


Рис. 2. Распиловочный станок с синхронным опусканием электропривода и рамы

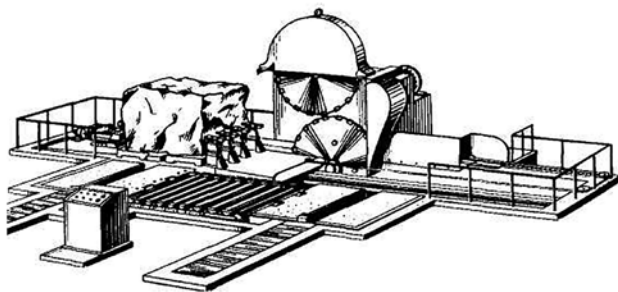


Рис. 3. Двухъярусный дисковый распиловочный станок SMP-017

ством тонких пильных полотен (порядка 100) из высокопрочной стали с малыми подачами.

В связи с широким применением в камнеобрабатывающей промышленности алмазного режущего инструмента в последние годы получили преимущественное распространение распиловочные станки с горизонтальным прямолинейным движением пильной рамы [3, 4].

Станки современной конструкции в значительной степени автоматизированы и могут быть настроены на заранее заданное давление резания, которое автоматически сохраняется на протяжении всего хода операции. Максимальное его значение составляет 300–360 кН.

Недостатки рамных распиловочных станков (малая и непостоянная скорость резания, недостаточное давление при большом количестве пил, обнажение алмазных зерен с двух сторон – при переднем и заднем ходе) полностью отсутствуют в станках с режущими дисками. Максимальный размер дисковой пилы, которая может быть установлена на них, составляет 3000 мм.

Недостатком дисковых распиловочных станков является малая глубина реза, составляющая около 30% диаметра диска, сравнительно большая ширина пропила при глубоких резах (около 30 мм) и значительная мощность электропривода (100 кВт и более). Для устранения этих недостатков сконструированы станки, разрезающие камень с помощью нескольких пар дисков, располагаемых один над другим.

Станок SMP-017 (рис. 3) предназначен для распиловки блоков мрамора и известняка на утолщенные плиты. Большим достоинством станка является возможность использования алмазных дисков меньшего диаметра при глубине пропила 1 м.

Современные модели окантовочных станков полностью механизированы и освобождают оператора от ручных операций. Помимо окантовки плит они могут также быть использованы для изготовления профильных деталей (пояски, карнизы из готового профиля). Это достигается путем введения в конструкцию станка допол-



Рис. 4. Окантовочный станок консольного типа

нительного суппорта, позволяющего отрезному кругу принимать заданное положение в пространстве. Универсальные фрезерные станки могут быть консольные, мостовые, а также порталные [3].

В последние годы на камнеобрабатывающих предприятиях применяется более рациональная технология, использующая высокопроизводительные алмазные отрезные круги, с помощью которых вырезают готовую продукцию в виде плит или брусков заданного размера непосредственно из блоков.

Лидерами в производстве оборудования для камнеобработки традиционно являются итальянские компании. Среди их продукции есть комбинированные машины, позволяющие одновременно осуществлять распиловку, калибрование и полирование материала, а также другие комбинации операций. Практически все итальянское оборудование автоматизированное.

Камень, как всякий хрупкий материал, имеет значительно меньшую прочность при скалывании. Для многих пород камня соотношение предела прочности при сжатии и скалывании составляет порядка 10.

Современная тенденция упрощения архитектурных форм, сделавшая желательным использование рельефных, более выразительных фактур, а также широкое применение камня в строительстве как отделочного материала выдвинули проблему изыскания эффективных приемов его обработки способом скалывания. В этой связи были созданы высококачественные твердосплавные инструменты, резко повысившие его производительность; расширился ассортимент используемого инструмента; были предложены оригинальные его формы, допускающие механизацию операции; широкое применение получили высокочастотные пневматические и электрические молотки; были разработаны поточные линии для однотипных изделий и т. д.

Существенный прогресс в технологии добычи и обработки крепких горных пород типа гранитов был достигнут после появления огнеструйного (термического) способа разрушения горных пород, разработанного в КазПТИ, МГИ, ХАИ, ИГТМ и других институтах. Внедрение терморезаков для проходки отрезных и врубовых щелей в гранитных карьерах коренным образом изменило технологию добычи гранитов. Это позволило в 2–2,5 раза увеличить выход блочного камня и значительно повысить его качество [2].

Разрушение камня при использовании этого способа происходит под воздействием факела раскаленных газов с температурой свыше 2000°K и скоростью истечения порядка 2500 м/с, которые, соприкасаясь с поверхностью камня, создают тепловой ударный импульс. На рис. 5 представлен манипулятор для обработки крупных блоков, оснащенный керосино-кислородной ракетной горелкой, имеющей следующие технические характеристики: расход кислорода – 12–16 м³/ч; расход керосина – 10–12 л/ч; расход воды – 200 л/ч; температура газовой струи – 2500–3000°С; скорость газовой струи – поряд-



Рис. 5. Обработка блочного камня из крепких горных пород с помощью манипулятора

ка 2 км/с; производительность по сбою породы – до 400 кг/ч в зависимости от технологии обработки.

На рис. 6 представлена технология обработки блочного камня на механизированных станках.

По результатам исследований в Проблемной лаборатории КазНТУ им. К.И. Сатпаева было разработано несколько конструкций машинных термоинструментов, прошедших испытания в производственных условиях [2, 6, 7, 8, 9].

Базовая модель – горелка ТР-14/22-5 используется рядом камнеобрабатывающих предприятий. Показали высокую производительность и надежность в работе терморезаки ТР-14/22-5, ТР-14/26, ТУБР-1М, а также бензовоздушные термоинструменты ТРВ-12М, работающие на смеси бензина и воздуха [6].

Практика работы крупных камнедобывающих и камнеобрабатывающих предприятий России, Украины, Казахстана, использующих ручные термоинструменты для добычи и обработки блочного камня, показывает, что существуют значительные резервы для их совершенствования за счет интенсификации рабочих процессов горения и управления процессом обработки.

Исключительная простота операции раскалывания камня на колочных станках, а также возможность ее выполнения при относительно неправильной форме блока (плиты) при использовании «плавающих» ножей позволяют создать высокопроизводительные поточные линии для изготовления облицовочных изделий с колотой фактурой [10].

Комплексная автоматизация крупносерийного современного производства блочного камня требует строить специализированные и встраиваемые автоматические линии, основанные на робототехнических устройствах (роботах), имеющих современные контрольные устройства обратной связи. Особенностью которых является использование как механических средств разрушения, так и термомеханических, основанных на разрушающей способности высокотемпературной и высокоскоростной газовых струй.

В серийном производстве выпуска блочного камня необходима разработка универсальных средств механизации и автоматизации основных и вспомогательных, технологических и транспортных операций в условиях большой номенклатуры и частой сменяемости изделий.

#### Список литературы

1. Картавий Н.Г., Сычев Ю.И., Волуев И.В. Оборудование для производства материалов из природного камня. М.: Машиностроение, 1988. 240 с.
2. Ракишев Б.Р., Бабин Ю.Н., Шерстюк Б.Ф., Бобович В.С. Техника и технология добычи гранитных блоков. М.: Недра, 1989, 197 с.
3. Орлов А.М. Добыча и обработка природного камня. М.: Стройиздат, 1977. 349 с.
4. Синельников О.Б. Добыча природного облицовочного камня. М.: Издательство РАСХН, 2005. 245 с.

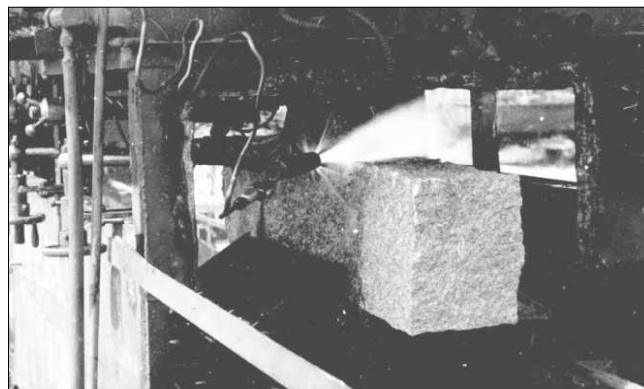


Рис. 6. Обработка блочного камня механизированным способом

5. Дмитриев А.П., Гончаров С.А., Германович Л.Н. Термическое разрушение горных пород. М.: Недра, 1990, 255 с.
6. Ракишев Б.Р., Бабин Ю.Н., Шапарев С.В. Изготовление изделий из крепких горных пород термическим способом. Алматы: КазНИИТИ, 1986, 48 с.
7. Инновационный патент № 20976 РК. Устройство для термического разрушения горных пород / Москалев А.Н., Поветкин В.В., Алипов К.С., Алтынов Ж.Л., Поветкин А.В. Оpubл. 16.03.2009. № 3.
8. Инновационный патент № 21453 РК. Способ обработки блоков из крепких горных пород / Поветкин В.В., Алипов К.С., Поветкин А.В. Оpubл. 15.07.2009. № 7.
9. Инновационный патент № 23135 РК. Устройство для термического разрушения горных пород / Поветкин В.В., Алипов К.С. Оpubл. 15.11.2010. № 11.
10. Алтынов Ж.Л. Создание комплекса манипуляционных устройств для изготовления изделий из крепких горных пород термомеханическим способом. Автореферат диссертации д-ра техн. наук. Алматы: КазНТУ, 2009. 42 с.



### Дайджесты

«Керамические строительные материалы»  
теперь на DVD

На диске объединены две части дайджеста «Керамические строительные материалы». Собрана информация за период 1996–2008 гг. – наиболее интересные статьи, опубликованные в журнале «Строительные материалы»®, всего более 200 статей по тематическим разделам:

- общие вопросы отрасли;
- сырьевая база отрасли;
- оборудование и технологии;
- технологические особенности производства;
- наука – производству;
- предприятия отрасли;
- ограждающие конструкции;
- страницы истории;
- в рамках проекта «Керамтэкс»

**Заказать диск можно в издательстве  
«СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»:**

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

**E-mail: mail@rifsm.ru, rifsm@mail.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

Реклама

**ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА**

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

автоматическая обработка измерений



диапазон 3...100 МПа

**УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С**  
ультразвуковой

поверхностное и сквозное прозвучивание



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

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

отрыв со скалыванием и скалывание ребра



предельное усилие 60 кН  
диапазон 5...100 МПа

**ПОС-2МГ4 П**

испытание прочности ячеистых бетонов



предельное усилие вырыва 2,5 кН

**ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ**

**ПДУ-МГ4 "Удар"**

и ПДУ-МГ4 "Импульс"

определение динамического модуля упругости грунтов и оснований дорог методом штампа,

диапазон: 5...370 МН/м<sup>2</sup> ("Удар")  
5...300 МН/м<sup>2</sup> ("Импульс")



**Прессы испытательные малогабаритные**

**ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4**

с гидравлическим приводом для испытания бетона, асфальтобетона, кирпича

■ предельная нагрузка 100 / 500 / 1000 кН  
■ масса 70 / 120 / 180 кг



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

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

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

**ПСО-10МГ4 КЛ**

испытание прочности сцепления в каменной кладке



предельное усилие отрыва 15 кН

**АДГЕЗИМЕТРЫ**

**ПСО-МГ4**

испытание прочности сцепления покрытия с основанием



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

**ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

**ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"**

стационарный и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

**АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ**

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

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



**ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01**  
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



**ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

**ИТП-МГ4.03 "Поток"**

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



диапазон 10...999 Вт/м<sup>2</sup>  
-40...+70 °С

**ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ**

**ВЛАГОМЕР-МГ4**

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



**ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА**

**ИПА-МГ4**

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



**ТЕРМОМЕТРЫ**

**ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01**

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



**ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ**

**ДО-40 / 60 / 80МГ4**

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых усилий 2...120 кН



диаметр арматуры 3...12 мм

**ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ**

**ЭИН-МГ4**

частотный метод

диаметр арматуры 3...32 мм



диапазон 100...1800 МПа

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

УДК 622.73

С.Е. ПУНЕНКОВ, главный технолог комбината АО «Костанайские минералы»,  
(г. Житикара, Республика Казахстан)

## Современное состояние и перспектива развития хризотил-асбестовой отрасли в Бразилии

Бразилия — крупнейшее государство Южной Америки, занимающее почти половину континента, площадью около 8,5 млн км<sup>2</sup>. Бразилия имеет значительные запасы хризотил-асбеста, который активно используется, в том числе в производстве хризотилцементов.

Основной добытчик и переработчик хризотилового волокна в Бразилии — национальная компания «SAMA», годовой объем производства которой 250 тыс. т. На внутреннем рынке потребляется почти 60% товарной продукции хризотила, что полностью удовлетворяет потребности в хризотиловом волокне страны, около 40% — поставляется на экспорт. Динамика роста экспорта бразильского хризотила в последние годы увеличивается. Бразильский хризотил в 2010 г. экспортировался более чем в 20 стран Азии, Латинской Америки, Африки и Ближнего Востока.

Хризотиловая горно-перерабатывающая компания «SAMA» включает горное и обогатительное производство «Crisotil Minaçu», а также хризотилцементный завод «Eternit». Компания «SAMA» тесно сотрудничает с Институтом хризотила Бразилии, организациями «Governo de Goiás», «UKAS»-«DNV», «UNICAMP», «Departamento nacional de producao mineral» и другими государственными, общественными и частными организациями Бразилии, Европы, Азии, Америки [1].

Сырьевой базой горно-обогатительного комбината «Crisotil Minaçu» является месторождение хризотила «Sana Brava», которое расположено на левом берегу реки Токантинс, в северном регионе штата Гойас (Goiás) в г. Миназу (Minaçu) в 510 км от г. Гояния (Goiânia). Месторождение открыто в 1939 г., разработка начата в 1967 г. Изначально месторождение разрабатывалось подземным способом, затем перешло на открытый способ добычи хризотила.

В настоящее время длина карьера составляет 2,7 км, ширина 1 км, глубина 140 м. Вскрытие карьерного поля выполнено двумя траншеями. Система разработки



Рис. 1. Карьер предприятия «Crisotil Minaçu» горно-перерабатывающей компании «SAMA» (Бразилия)

транспортная, с внешним отвалообразованием. Высота рабочих уступов 13 м, их количество 10. Ширина рабочих площадок в зоне работы автомобильного транспорта 35 м. Угол откосов бортов 34°. Общая площадь, занятая горными работами, составляет 45 км<sup>2</sup> (рис. 1).

Коэффициент крепости руды по шкале Мооса 3–4, плотность — 2,2 т/м<sup>3</sup>.

Технология ведения горных работ циклическая с применением буровзрывных работ. Годовой коэффициент вскрыши 6,8%. Сетка взрыва 3×7 м, глубина скважин зависит от высоты уступа борта — средняя 13 м с переметром 2 м. Расход взрывчатых веществ составляет 130–160 г на 1 т горной массы. Применяется автоматическая зарядка с осушением скважин. Для оперативного управления горными работами действует система спутниковой навигации.

Залежь имеет пластообразную форму, асбестоносность на месторождении представлена в основном крупной сеткой и сложными жилами. Утвержденные запасы месторождения хризотила «Sana Brava»: руда — 194,82 млн т; волокно — 12,84 млн т; содержание хризотилового волокна — 6,59%; запас хризотилового промышленного волокна — 51 год.

Годовой объем горных работ составляет по добыче горной массы 23 млн т, по горно-подготовительным работам 20 млн т, по добыче руды 3 млн т [2].

При обработке хризотиловой руды применяются следующие технологические операции: дробление руды; грохочение руды (классификация); извлечение черновых концентратов; перемешивание черновых концентратов; получение готового сортамента хризотила; пневмотранспортирование хризотиловых концентратов и очистка технологического и аспирационного воздуха; упаковка, складирование и отгрузка товарного хризотила.

Схема рудоподготовки в дробильно-сортировочном комплексе предусматривает трехстадийное дробление с открытым циклом. Используются конусные дробилки.

Руда с рудника автомобильным транспортом поступает на первую стадию дробления с крупностью куска менее 900 мм. Влажность исходной руды колеблется от 6 до 18%. Содержание хризотила в руде 6–10%. Производительность по руде дробильно-сортировочного комплекса в цехе рудоподготовки 900 т/ч, в цехе обогащения 600–630 т/ч. Производительность цеха обогащения по готовой продукции (хризотил 3–6-й групп) составляет 250 тыс. т.

Операция классификации руды на вибрационных грохотах осуществляется перед каждой стадией дробления. На сушку направляется руда класса 30 мм с влажностью от 18 до 6%. Руда класса +30 мм объединяется с горячей рудой класса -30 мм после сушки и транспортируется в склад сухой руды (рис. 2) при влажности 2–3%.

Высушенные мелкие частицы руды, пыль и свободное волокно хризотила вместе с топочными газами выносятся из печей и осаждаются в циклонах в виде черного концентрата цеха рудоподготовки (дробильно-сортировочный комплекс). Вторичная очистка дымо-





Рис. 2. Для сушки руды на предприятии применяется два типа сушилок: барабанные (а) и кипящего слоя (б). Общая производительность 5 печей 60 т/ч

вых газов происходит в терморукавах.

Обогащение хризотиловой руды производится сухим гравитационным методом с пневматическим извлечением хризотилового концентрата.

В цех обогащения поступает руда крупностью менее 30 мм.

Схема грузового потока состоит из двух стадий дробления, особое внимание уделяется избирательности дробления (рис. 3). После каждой стадии дробления в грузовом потоке производится двукратная классификация на грохотах с отсасыванием хризотилового концентрата из продуктов верхних сит каждого грохота и барабанов (рис. 4).

Обработка черновых концентратов включает операции обезгаливания, обеспыливания и классификации. Перечистка разделена на два потока, каждый поток разбит на два приема. В первом приеме выделяется более крупное волокно хризотила, во втором – более мелкое. Предусмотрено выведение из грузового потока пыли (класс -0,5 мм) после каждой стадии грохочения.

Дека применяемых грохотов в загрузочной части имеет круговое движение, а в разгрузочной – возвратно-поступательное. Грохоты имеют двух- и трехситные. На некоторых операциях грузового потока для усиления

извлечения волокна над декой грохота устанавливается напорно-добавочный вентилятор, что не делается на грохотах отечественных фабрик.

Марочный состав выпускаемой на обогатительной фабрике «Crisotil Minaçu» готовой продукции представлен в табл. 1.

Для продукции определяется также влажность хризотила, объем во влажном состоянии (на механическом инверторе), фракционный состав по классам распушенности на элютриаторе, удельная поверхность – на приборе Рапид-Тестер, показатель FSU (Fiber Strength Unit) – в единицах прочности асбестового волокна.

Для определения показателя прочности асбестового волокна проводится испытание на изгиб асбестоцемента, содержащего исследуемое волокно, и рассчитывается уровень прочности материала (асбестоцементной плитки) относительно стандартной прочности волокна. Так определяется технологическая ценность волокна – Wa. Считается, что асбестовое волокно дает стандартную прочность 100 ед. при стандартной плотности волокна, когда его количество в материале составляет 10%. Количество хризотилового волокна, необходимого для изготовления асбестоцементного образца стандартной прочности, изменяется в зависимости от того, ка-

Таблица 1

Спецификация показателей качества бразильского хризотил-асбеста

Марка	Массовая доля фракций на гидрокласификаторе Тернер-Ньюэлл, %						Индекс Тернер-Ньюэлл, L <sub>тн</sub>	Массовая доля фракций менее 0,075 мм, % (Wash Test)	Объем хризотила во влажном состоянии, мл
	2,4 мм	1,2 мм	0,6 мм	0,3 мм	0,075 мм	-0,075 мм			
	7 mesh	14 mesh	25 mesh	50 mesh	200 mesh	-200 mesh			
CB-3T-DD	43,2	15,2	9	5,1	5,5	22	1293	23,7	1249
CB-4A-DD	37,5	13,2	11,9	6,3	6,3	25	1152	25,8	1260
CB-4K-DD	22,8	15,7	12,5	7,9	7,5	32,9	840	33,3	967
CB-4T-DD	16,7	15,4	13,4	8,8	8,6	37,2	699	38,2	843
CB-4XA-DD	11,4	13,8	13,7	10	9	42,2	558	42,7	923
CB-4Z-DD	9,7	11,7	13,6	10,2	19,5	35,3	500	46,7	660
CB-5K-DD	6,2	11,6	15,2	11,2	9,4	46,5	419	46,9	810
CB-5R-DD	4,2	10,9	14,5	10,7	9,9	50	358	49,5	580
CB-5RF-DD	3,6	10,4	16,1	10,6	8,7	50,6	347	50,9	740
CB-6D-DD	3,7	9,6	13,4	10,8	9,8	52,8	324	52,8	633
CB-6DF-DD	0	0,6	5,4	17	17,9	59,1	104	59,3	600
CB-6DP-DD	0	0,3	4	13,5	17,5	64,7	81	65,9	500
CB-7MF-DD	0	0,4	4,2	12,2	16,2	66,9	80	68,2	426
CB-7MP-DD	0	0,2	2,6	9,1	16,5	71,6	58	72,2	358



**Рис. 3.** Основным дробильным аппаратом является вертикальная молотковая дробилка, производительностью 70 т/ч. Дробилки имеют хорошую избирательность дробления и высокую степень вскрытия хризотилового волокна



**Рис. 4.** Классификация производится на грохотах с отсасыванием хризотилового концентрата из продуктов верхних сит грохота и барабанов

кую ценность или армирующие свойства имеет волокно. Определив долю волокна, необходимую для получения асбестоцемента стандартной прочности, рассчитывают FSU – относительную прочность волокна:

$$FSU = \frac{1000}{Fn};$$

$$Fn = \frac{100 \times 275 \times F}{\sigma \times (100 - F) + 275 \times F},$$

где  $F_n$  – расход хризотила в смеси, необходимый для получения стандартной прочности асбестоцемента, %;  $FSU$  – относительная прочность волокна, ед.;  $F$  – расход хризотила в смеси (10%);  $\sigma$  – предел прочности исследуемого образца, кг/см<sup>2</sup>.

Технологическая ценность хризотилового волокна  $W_a$  измеряется в процентах и определяется по формуле:

$$W_a = (FSU - 10,3)/1,38.$$

Затем определяется обобщающий показатель качества фракционного состава AGV (Average Grade Value):

$$AGV = 2,1 W_1 + 1,5 W_2 + 1 W_3 + 0,5 W_4 - 0,1 W_5,$$

где:  $W_1$  – массовая доля волокна длиной более 4 mesh (4,75 мм);  $W_2$  – более 14 mesh (1,18 мм);  $W_3$  – более 35 mesh (0,425 мм);  $W_4$  – более 200 mesh (0,075 мм);  $W_5$  – менее 200 mesh (-0,075 мм).

Показатель AGV используется потребителями при составлении смесок асбеста для производства асбестоцемента.



**Рис. 5.** Линия автоматизированной подачи паллет с асбестом и их раскларки



**Рис. 6.** Емкости для дождевой и водопроводной воды из хризотилцементна незаменимы для климатических условий Бразилии (автор справа)

**Таблица 2**

**Марки хризотил-асбеста**

Бразильские	Отечественные
CB-3T-DD	A-2-30
CB-4A-DD	A-3-60
CB-4K-DD	A-3-50
CB-4T-DD	A-4-30
CB-5K-DD	A-4-20
CB-5RFDD	A-5-65
CB-6D-DD	A-5-50
CB-6DPDD	A-6-30
CB-7MFDD	A-6K-20
CB-7MPDD	A-7-450

**Таблица 3**

**Время обработки для различных групп хризотил-асбеста в бегунах**

Бразильские группы		Группы стран СНГ	
Группа	Время обработки, мин	Группа	Время обработки, мин
4T	15-18	A-4	12-15
5R	10-12	A-5-50	6-8
6D	8-10	A-6	6-8





Рис. 7. Дезинтегратор для распушки хризотила

В табл. 2 приведены сравнительные названия марок получаемого в Бразилии товарного хризотил-асбеста и соответствующие им отечественные марки хризотила.

Готовая продукция упаковывается в полипропиленовые мешки по 50–60 кг. На упаковочном комплексе работает 21 пресс-упаковочная машина.

Асбестоцементное предприятие «Eternit», входящее в состав хризотиловой бразильской компании «SAMA», имеет высокий уровень механизации и автоматизации. Автоматизирована подача мешков с асбестом с паллеты в приемное устройство аппарата, где в герметичном пространстве мешки разрезаются пилой, а затем отбрасываются в емкость для их накопления (рис. 5). Все тракты движения сырья тщательно герметизированы. Вся территория завода, производственные корпуса снаружи и внутри очень чистые, полы производственных площадей моются механической машиной со специальным шампунем.



Рис. 8. Емкость для накопления целлюлозной суспензии

На предприятии изготавливаются хризотилцементные листы различной конфигурации, использующиеся как кровельный материал, отделочные плиты, хризотилцементные трубы, бутары – емкости для жидкости (рис. 6). В Бразилии бутары устанавливаются на крышах домов и применяются для хранения и нагревания дождевой и водопроводной воды. Собранная вода используется для хозяйственно-бытовых нужд. Емкость бутар 300–1000 л. По опыту Бразилии пластиковые бутары в отличие от хризотилцементных не выдерживают действия солнца, на их поверхности скапливаются микроорганизмы, развиваются бактерии, опасные для здоровья человека.

Изделия изготавливаются мокрым способом. Применяются два вида производства волнистых листов из сырого наката – прокладочный и беспрокладочный. Распушка хризотила производится в бегунах, затем в дезинтеграторах (рис. 7). Катки и под бегунов выполнены из гранита. Скорость подачи необходимого количества воды в бегунах отрегулирована таким образом, чтобы содержание воды не была избыточным, ее добавление завершается сразу после введения в бегуны последней порции асбеста.

Время обработки асбеста в бегунах на предприятии «Eternit» больше, чем на отечественных заводах (табл. 3).

В хризотилцементную суспензию добавляют известняк и целлюлозу. Целлюлоза поступает на производство в брикетах как макулатура, ее размол производится в течение 4 мин в гидроразбивателе в присутствии химических реагентов. Водная суспензия целлюлозы откачивается в накопительную емкость (рекуператор), где ее разжижают водой до концентрации 25 г/л. (рис. 8). Для предотвращения расслоения суспензии емкость барбатируется. Целлюлозная суспензия подается в смеситель до загрузки цемента и извести. После смешивания всех компонентов концентрация смеси должна составлять 15–18%. Далее все поступает в миксер – ковшовую мешалку и после разжижения – на листоформовочную машину.

Добавку целлюлозы вводят для улучшения пластических свойств хризотилцемента и повышения ударной прочности материала.

При изготовлении волнистого шифера марки Н16F-8 мм в смесь вводят по сухому веществу 10% хризотила, 10% известняка, 78% цемента и 2% целлюлозы.

Для изготовления хризотилцементных листов применяется хризотил марок СВ-4Т-DD, СВ-4Z-DD, СВ-5R-DD и СВ-6D-DD, что приблизительно соответствует отечественным маркам А-3-50, А-4-30, А-5-50, А-5-65. Таким образом, смеси асбеста для изготовления волнистого шифера значительно богаче длинными волокнами, чем отечественные.

Бразильская хризотиловая промышленность успешно развивается, в ней происходят прогрессивные качественные изменения в освоении передовых технологий, нового технологического и вспомогательного оборудования. В компании «SAMA» уделяется повышенное внимание технике безопасности на производстве, экологии и охране окружающей среды. Высок уровень мониторинга технологических процессов. Постоянно происходит совершенствование управленческой системы на предприятиях.

**Ключевые слова:** хризотил, хризотилцемент, месторождение хризотила.

**Список литературы**

1. А FIBRA-Boletim Informativo. Internal Circulation. 1998, 256 p.
2. BARBOSA D.G. Verbal Information-Interview. Minacu, 2005, 212 p.



# Сверхдлинные транспортёры

Вот уже 10 лет РБЛ-РЕИ продолжает стремительное развитие современного технологического оборудования под заказ. Это обеспыливаемые воронки для сыпучих тел для установки в портах, автоматизированные системы загрузки вагонов, шахтные транспортёры и сверхдлинные транспортёры Curvodic™.

В разных уголках мира имеются великолепные образцы таких транспортёров Curvodic™ (максимальная длина 17 км), построенных РБЛ-РЕИ. Их пропускная способность достигает 20000 т/ч при изгибах радиусом более 250 м.



В настоящее время РБЛ-РЕИ монтирует установку из двух линий по 40 км каждая ленточного транспортёра в Фенхае (КНР). Эти параллельные линии на 2500 т/ч каждая позволяют подавать 30000 т/сут известняка на один из крупнейших в мире цементных заводов. Каждая линия состоит из трех Curvodic™ (11, 12 и 17 км), оснащена 19 приводными группами (750 кВт), скорость ленты 5 м/с. По всей длине транспортёры имеют вертикальные и горизонтальные изгибы, адаптированные к рельефу местности, в том числе к дорогам, рекам, рисовым полям.

Пусконаладка первой линии этого сложнейшего проекта, состоящей из трех транспортёров, успешно прошла за четыре недели после рекордно короткого монтажа всего за восемь месяцев. Работа по установке второй линии началась в апреле и должна завершиться в еще более короткий срок, чем первая линия.



Скорость : 5 м/с  
Натяжение : 3 150 Н/мм  
Сила тяги : 80 т  
Ширина ленты : 1 400 мм  
Толщина : 24 мм

## Образцы реализованных проектов

### 2 транспортирующих ленты

Гамма транспортёров Curvodic™ включает очень экономичные технические решения, например этот Curvodic™ длиной 6,8 км, соединяющий порт и цементный завод. При помощи Curvodic™ в порт отгружается клинкер – 1200 т/ч (верхняя лента) и одновременно из порта на цементный завод транспортируется уголь – 400 т/ч (нижняя лента). Транспортёр оснащен тремя приводными группами (500 кВт). На своем пути он имеет два изгиба по 1000 м.



### Сжатые изгибы

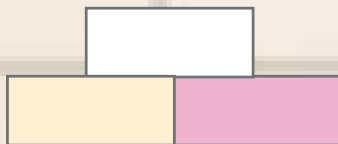


Наши транспортёры Curvodic™ могут иметь очень сжатые изгибы, например этот транспортёр, перемещающий 600 т/ч угля от барж, приходящих по р. Мозель к теплоэлектростанции. Благодаря радиусу изгибов 350 и 300 м и S-образной форме этот Curvodic™ заменил три прямых транспортёра. Curvodic™ имеет ширину ленты 1200 мм и длину более 1 км. Он пересекает канал и склад шлака.

# V Международная научно-практическая конференция

# **Развитие производства силикатного кирпича в России**

**СИЛИКАТ**ЭКС



12–13 октября 2011 г.

Тюмень



### Тематика конференции:

- Технологии и оборудование для производства силикатного кирпича
- Сырьевые материалы (песок, известь, зола) и технологии их подготовки и применения
- Новые виды силикатных материалов, использование в строительстве
- Диверсификация заводов
- Нормативная база отрасли



**Участники конференции посетят завод стеновых материалов «Поревит» в г. Ялуторовске Тюменской обл.**

Организаторы конференции: журнал «Строительные материалы»®

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ®**

**Генеральный спонсор конференции: компания MASA**

**masa**

### Оргкомитет:

Руководитель проекта – Юмашев Алексей Борисович    Менеджер проекта – Горегляд Светлана Юрьевна  
Телефон/факс: (499) 976-22-08, 976-20-36, (916) 123-98-29  
E-mail: mail@rifsm.ru,    http://www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3, редакция журнала «Строительные материалы»®



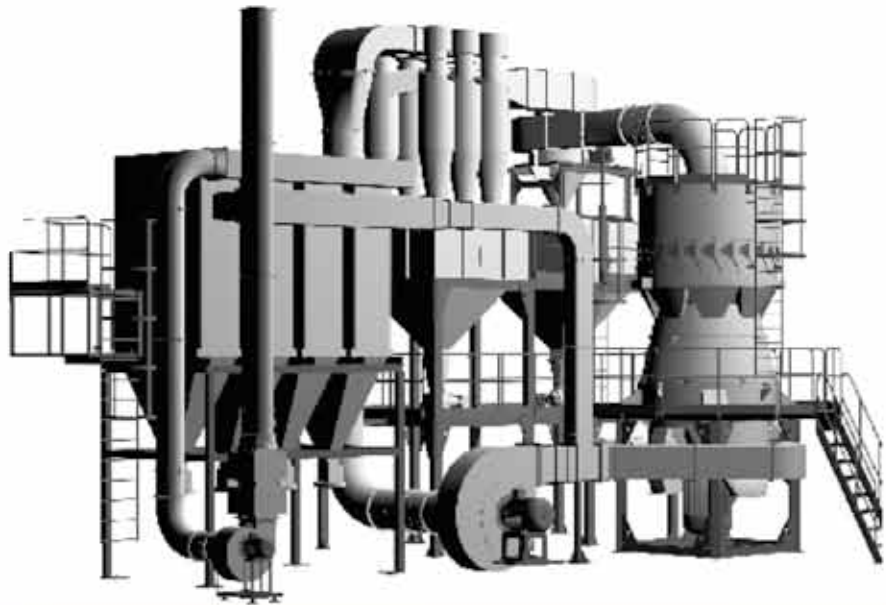
**Контакты:**

Россия, 455037, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 89, стр.7  
т. тел.: +7 (3519) 31-66-11, 31-66-00, факс: 49-81-50  
e SALES@uralomega.ru



ДРОБИЛЬНИК ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Узнайте больше на нашем сайте  
[WWW.URALOMEGA.RU](http://WWW.URALOMEGA.RU)



**СТТ 2011**  
Стена № 3-505  
МВЦ "Крокус Экспо", Москва  
31 мая - 4 июня

## Измельчительные комплексы **КИ**

Измельчительные комплексы **КИ**<sup>®</sup> - современные высокоавтоматизированные измельчительные установки предназначенные для тонкого и сверхтонкого сухого измельчения материалов любой крепости, твердости и степени абразивности.



Измельчительный комплекс **КИ** получение порошков и наполнителей крупностью 0,02 -0,5 мм с производительностью до 20 т/ч.

**Факт:** Более 50% российского микрокальцита производится на измельчительных комплексах **КИ**

Преимущества оборудования:  
• высокая надежность,  
• высокие показатели работы,  
• простота обслуживания,  
• низкая стоимость эксплуатации

наши возможности:  
• Изготовление, поставка, монтаж и пуско-наладка дробильного, сортировочного, измельчительного оборудования.  
• Разработка технических регламентов.  
• Инжиниринг под конкретную задачу.  
• Проектирование и запуск технологических линий и производств «под-ключ»



# Специальная модификация для суперустойчивости к сползанию

гидроксиэтилцеллюлоза  
гидроксипропилметилцеллюлоза

гидроксиэтилметилцеллюлоза  
метилцеллюлоза  
карбоксиметилцеллюлоза

HEC

MP

MAT

ME

MET

MC



РОССИЯ

УКРАИНА

БЕЛАРУСЬ

КАЗАХСТАН

**Штукатурка гипсовая**  
ручная, машинная

**Адгезивы**  
цементные

**Клеи для фасадного утепления**

Новые марки MAT, MET:

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



Группа компаний  
«Единая Торговая Система»

Тел. +7 812 703 103 5

[www.utsrus.com](http://www.utsrus.com)

Э.В. КОТЛЯРСКИЙ, канд. техн. наук, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

## Морозостойкость асфальтобетона

Изучению морозостойкости асфальтового бетона посвящены исследования многих ученых. По мнению профессора С.В. Шестоперова [1], это – один из наиболее надежных методов оценки способности конструкционных бетонов противостоять воздействию эксплуатационных факторов.

Известные методы испытания в качестве количественных критериев предполагают после определенного числа циклов попеременного замораживания и оттаивания фиксировать либо потерю массы образцов, либо потерю их прочности.

Установлено, что в процессе этих испытаний увеличивается потеря массы образцов и снижается прочность.

Если рассмотреть процесс разрушения образца любого материала, нетрудно установить, что все деструктивные процессы развиваются от его поверхности (рис. 1). В связи с этим научный и практический интерес представляет задача экспериментальной оценки изменения строительно-технических и структурно-механических свойств асфальтового бетона при испытании на морозостойкость.

В лаборатории асфальтового бетона и органических вяжущих МАДИ были подобраны составы (рис. 2) среднещебнистых асфальтобетонных смесей на гранитном и известняковом щебне (а) близкой granulometрии и песчаная асфальтобетонная смесь (б).

Составы и свойства смесей приведены в таблице.

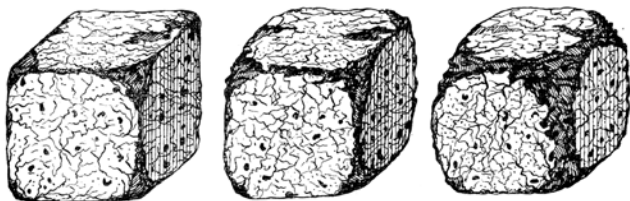


Рис. 1. Внешний вид цементобетонных образцов после испытания на морозостойкость [1–4]

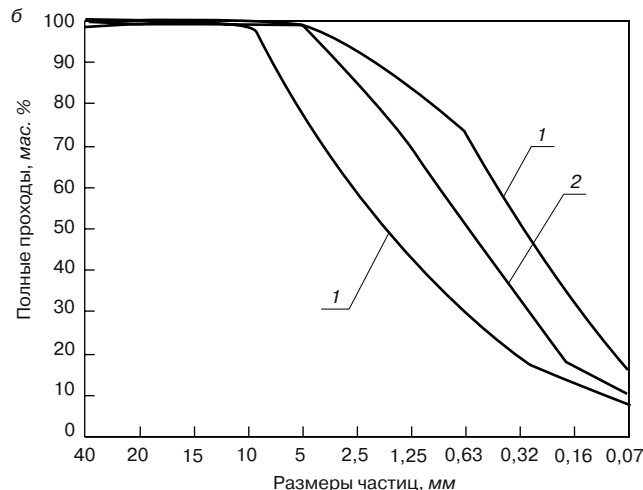
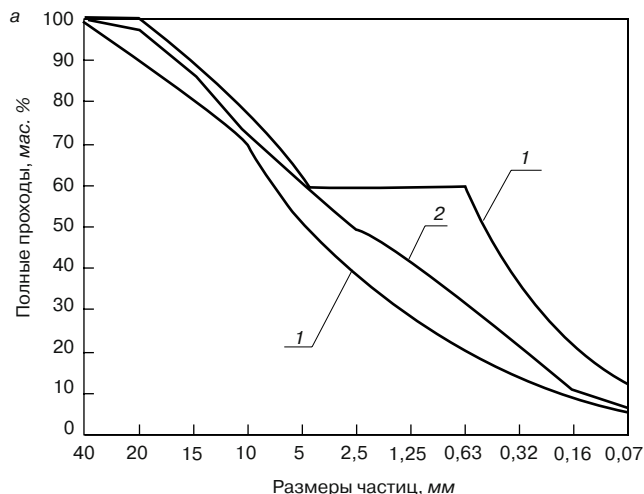


Рис. 2. Гранулометрический состав асфальтобетонных смесей на гранитном и известняковом щебне (а) и на песчаном наполнителе (б): 1 – мелкозернистый типа Б на граните и на известняке; 2 – песчаный типа Д

Для дальнейшего сравнительного анализа изменения строительно-технических свойств асфальтовых бетонов использованы данные, полученные совместно с С.В. Шестоперовым, Э.М. Ваулиным, Г.Н. Никифоровым [5].

Испытания проводили в морозильной камере замораживанием водонасыщенных образцов при  $-25^{\circ}\text{C}$  в течение 4 ч и оттаиванием при  $+20^{\circ}\text{C}$  в течение 16 ч.

Образцы серий 1–3 подвергали попеременному замораживанию и оттаиванию в течение 100 циклов.

Изменение механических свойств асфальтобетона при 20 и  $0^{\circ}\text{C}$  оценивали коэффициентом морозостойкости, определяемым по формулам:

$$k_{\text{МРЗ}20}^n = \frac{R_{20}^n}{R_{20}^0}; \quad k_{\text{МРЗ}20}^n = \frac{R_0^n}{R_0^0}, \quad (1)$$

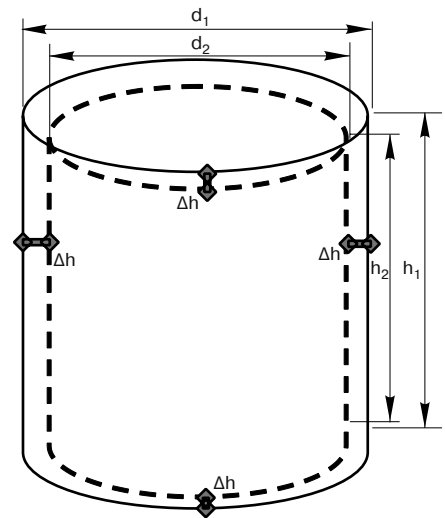
где  $R_{20}^n$  – предел прочности при сжатии при  $20^{\circ}\text{C}$ ;  $R_0^n$  – предел прочности при сжатии при  $0^{\circ}\text{C}$ ;  $n$  – количество циклов попеременного замораживания и оттаивания.

При определении механических свойств асфальтобетона при 20 и  $0^{\circ}\text{C}$  после 100 циклов замораживания-оттаивания проявилась закономерность. Более высоким коэффициентом морозостойкости при  $20^{\circ}\text{C}$  обладают щебенистые составы (0,72–0,75) на гранитном щебне. При использовании известнякового щебня коэффициент составил 0,68, а у песчаного асфальтобетона типа Д – 0,5. При испытании асфальтобетонных образцов при  $0^{\circ}\text{C}$  для щебенистых смесей эта тенденция сохраняется. Образцы песчаного асфальтобетона серии 3 показали более высокую морозостойкость, что связано с более мелкопористой структурой материала.

Приведенные результаты стандартных испытаний позволяют установить лишь общий характер изменения исследуемых показателей, хотя непосредственному разрушению подвергается только поверхностный слой образца толщиной  $\Delta h_{\text{разр}} = f(i)$  [2, 3, 4], где  $\Delta h_{\text{разр}}$  – глубина разрушенной поверхности;  $i$  – количество циклов замораживания-оттаивания.

Асфальтобетонные смеси	Содержание компонентов, %		Свойства			
			Остаточная пористость, $V_{\text{ост}}^{\text{пор}}$	Водонасыщение, $W_H$	$R_{20}$	$R_0$
<b>Серия 1.</b> Горячая плотная асфальтобетонная мелкозернистая смесь типа Б марки I на гранитном щебне	Щебень	43,2	3,2	2,36	3,41	9,8
	Песок	48,6				
	Мин. пор.	8,2				
	Битум*	5,7				
<b>Серия 2.</b> Горячая плотная асфальтобетонная мелкозернистая смесь типа Б марки I на известняковом щебне	Щебень	43,3	2,35	2,36	3,68	8,38
	Песок	48,3				
	Мин. пор.	8,4				
	Битум*	6,0				
<b>Серия 3.</b> Песчаная асфальтобетонная смесь типа Д марки II	Песок	85,9	2,98	2,25	3,55	9,65
	Мин. пор.	14,1				
	Битум*	8,3				
<b>Серия 4.</b> Горячая плотная асфальтобетонная мелкозернистая смесь типа В марки II на гранитном щебне	Щебень	34,1	2,64	2,29	3,49	10,2
	Песок	55,2				
	Мин. пор.	10,7				
	Битум*	5,79				

\* Битум добавляют к 100% смеси.



**Рис. 3.** Расчетная схема для определения текущего объема и поверхности цилиндрических асфальтобетонных образцов при испытании на морозостойкость

Если предположить, что поверхность асфальтобетонных образцов при испытании на морозостойкость разрушается относительно однородно, то через  $\Delta h_{\text{разр}}$  (рис. 3) можно подсчитать объем материала, в котором элементарные контакты после очередного цикла попеременного замораживания и оттаивания еще способны сопротивляться:

$$\Delta V_n = V_{\text{обр}}^{\text{нач}} - V_{\text{обр}}^n; \quad (2)$$

$$V_{\text{обр}}^{\text{нач}} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h; \quad (3)$$

$$V_{\text{обр}}^n = \frac{\pi (d - 2\Delta h_{\text{разр}})^2}{4} \cdot (h - 2\Delta h_{\text{разр}}); \quad (4)$$

$$\Delta V_n = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h - \frac{\pi (d - 2\Delta h_{\text{разр}})^2}{4} \cdot (h - 2\Delta h_{\text{разр}}). \quad (5)$$

Определив среднее число контактов в единице объема в каждом из исследуемых составов, можно

установить количество контактов, не работающих после очередного числа циклов испытания на морозостойкость.

Поверхность образца в процессе испытания составит:

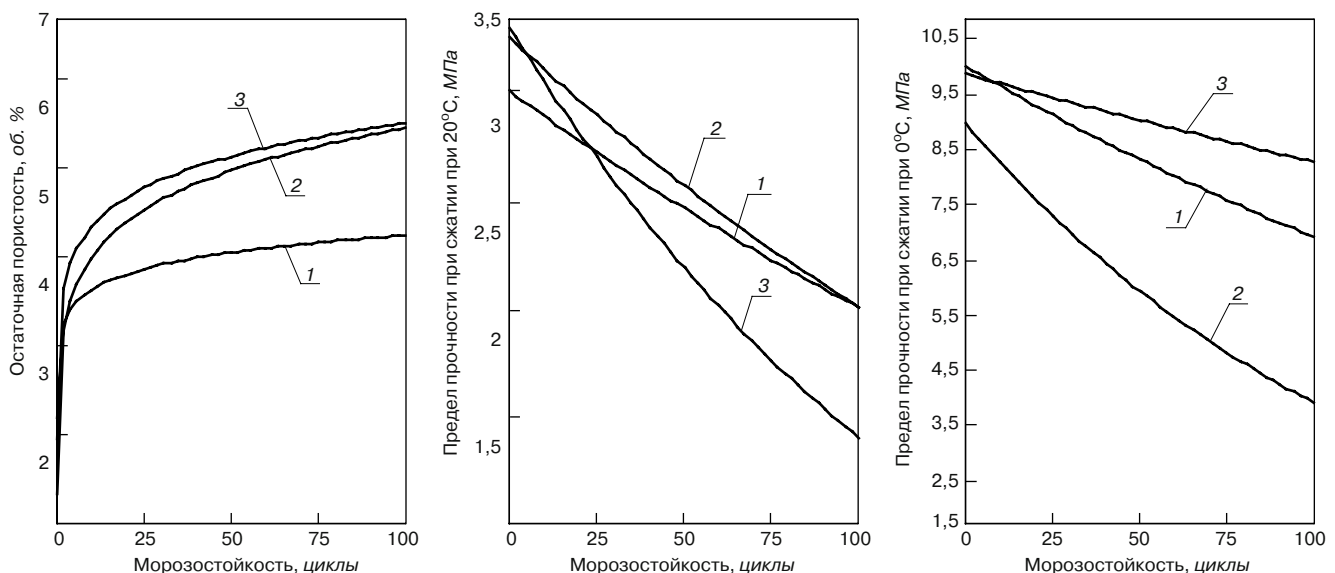
$$S_i = 2 \cdot \frac{\pi (d - 2h_{\text{разр}})^2}{4} + (h - 2h_{\text{разр}}) \cdot \pi \cdot (d - h_{\text{разр}}). \quad (6)$$

Средняя величина глубины разрушения:

$$\Delta h_{\text{разр}} = \frac{V_i}{S_i}, \quad (7)$$

где  $V_i$  – объем образца после  $i$  испытаний;  $S_i$  – площадь поверхности образца после  $i$  испытаний.

Оценка морозостойкости может производиться по потере массы ( $\Delta m$ ). Экспериментально полученные в процессе испытания на морозостойкость значения остаточной пористости связаны со средней плотностью образцов:



**Рис. 4.** Изменение строительно-технических свойств асфальтобетона с различными наполнителями после замораживания и оттаивания: 1 – морозостойкость асфальтобетона на граните; 2 – морозостойкость асфальтобетона на известняке; 3 – морозостойкость песчаного асфальтобетона



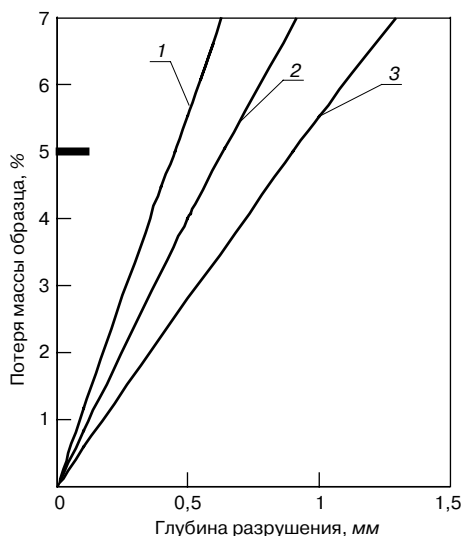


Рис. 5. Зависимость потери массы образцов от глубины разрушения поверхностного слоя: 1 — для образцов с  $h=D=50$  мм; 2 — для образцов с  $h=D=70$  мм; 3 — для образцов с  $h=D=100$  мм;

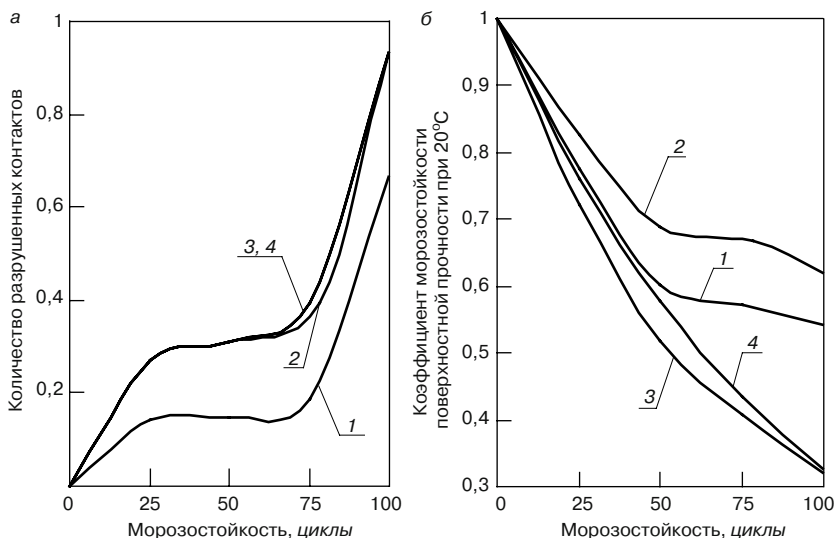


Рис. 6. Изменение глубины разрушения поверхностного слоя асфальтобетонных (а/б) образцов при испытании на морозостойкость (а); изменение относительной поверхностной прочности асфальтобетонных образцов при испытании на морозостойкость (м/с) (б): 1 — м/с а/б Б на граните; 2 — м/с а/б В на граните; 3 — песчаный а/б; 4 — м/с а/б Б на известняке

$$\rho_i = \rho \cdot \left( 1 - \frac{V_{\text{пор}}^{\text{ост}}}{100} \right) \quad (8)$$

$$\Delta m = m_0 - m_i = \rho_0 \cdot V_0 - \rho_i \cdot V_i \quad (9)$$

Для получения относительной потери массы необходимо  $\Delta m$  отнести к первоначальной массе.

С использованием зависимостей (2–8) была установлена взаимосвязь между потерей массы образцов различного размера с глубиной разрушенного поверхностного слоя. Линейная регрессионная модель обладает высокой степенью точности (коэффициент множественной корреляции  $R^2 > 0,99$ ).

Расчеты показали, что при 5% потере массы образцов диаметром 101 мм величина  $\Delta h_{\text{разр}}$  не превышает 1 мм (рис. 5).

Анализ изменения остаточной пористости испытанных составов после замораживания и оттаиваний позволил количественно оценить глубину разрушения поверхностного слоя асфальтобетонных образцов (рис. 6, а).

Для оценки относительной поверхностной прочности асфальтобетона использовали методику, разработанную О.А. Швагиревой [6]. Измерения производили на приборе «Оникс» (рис. 6, б).

Установлено, что до 20–25 циклов разрушение поверхностного слоя протекает довольно интенсивно. Для асфальтобетона типа Б на гранитном щебне поверхностный слой разрушается на глубину около 150 мкм, на гранитном типа В, известняковом типа Б — 240 мкм, у песчаного асфальтобетона — 280 мкм. Затем процесс разрушения стабилизируется, после 75 циклов замораживания-оттаивания соответственно достигает 200, 400 и 340 мкм. После 75 циклов испытания интенсивность разрушения поверхностного слоя резко возрастает и к 100 циклам составляет уже 680, 920 и 910 мкм.

У составов на известняковом щебне или с высоким содержанием известнякового порошка поверхностный слой разрушается интенсивнее и на большую глубину.

Это подтвердилось и при оценке относительной поверхностной прочности. Коэффициент морозостойкости (1) после 100 циклов замораживания и оттаивания у асфальтобетона на гранитном щебне составил 0,54, на известняковом — 0,33, а у песчаного асфальтобетона и малощебенистого типа В на гранитном щебне с высоким содержанием известнякового порошка — 0,32.

Полученные результаты позволяют сформулировать основные выводы:

1. При попеременном замораживании и оттаивании основные разрушения происходят в поверхностном слое.
2. Интенсивность разрушения поверхностного слоя зависит от природы крупного заполнителя и содержания известнякового порошка.
3. В дальнейших исследованиях необходимо вскрыть природу поверхностных разрушений с использованием теории контактных взаимодействий и основных положений физико-химической механики.

**Ключевые слова:** морозостойкость, асфальтобетон, поверхностная прочность, глубина разрушения поверхностного слоя.

#### Список литературы

1. Шестоперов С.В. Дорожно-строительные материалы. Ч. 1. М.: Высшая школа, 1976. 256 с.
2. Котлярский Э.В., Кондратьев М.С. О необходимости учета условий эксплуатации асфальтобетона в конструктивных слоях дорожной одежды // Сб. статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. М.: МАДИ, 2009. С. 61–72.
3. Котлярский Э.В., Кондратьев М.С. Изменение характеристик дорожного покрытия из асфальтобетона в зависимости от эксплуатационных воздействий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова // Научно-теоретический журнал. 2010. № 1. С. 53–59.
4. Котлярский Э.В., Кондратьев М.С. Роль эксплуатационных воздействий в изменении параметров асфальтобетонного покрытия // Сб. статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. М.: МАДИ, 2010. С. 107–117.
5. Ваулин Э.М., Котлярский Э.В. Работоспособность асфальтобетона при тепловом старении и попеременном замораживании и оттаивании // Транспортное строительство. 2008. № 9. С. 13–18.
6. Котлярский Э.В., Воейко О.А. Долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий и факторы, способствующие разрушению структуры асфальтобетона в процессе эксплуатации. М.: ООО «Техполиграф-центр», 2007. 136 с.



И.Ю. ЗАГЕР, инженер-технолог, А.А. ЯШИНЬКИНА, горный инженер,  
Л.Н. АНДРОНОВА, горный инженер-технолог, Ухтинский государственный  
технический университет (Республика Коми)

## **Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождений нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого АО**

Приполярный и Полярный Урал располагает богатыми природно-сырьевыми ресурсами, которые пока осваиваются слабо в значительной степени из-за недостаточного развития транспортной и энергетической инфраструктуры. Поэтому в 2005 г. была начата разработка проекта «Урал Промышленный — Урал Полярный», предполагающего создание уникального индустриально-инфраструктурного комплекса.

Целью проекта является не только совершенствование транспортной и энергетической инфраструктуры Российской Федерации для сокращения транспортного плеча доставки минерального сырья из Полярного Урала, но и развитие социальной инфраструктуры в районах нового промышленного строительства, повышение уровня и качества жизни населения Уральского федерального округа. Регионом, требующим первоочередного проектирования, определен Харпский горно-промышленный район. Его территория включает группу пространственно сближенных месторождений полезных ископаемых: железорудное Юнь-Ягинское, золото-железорудное Новогоднее-Монто, золоторудное Петропавловское, хромитовые Центральное и Западное, свинцовых руд Саурейское, меднорудное Лекын-Тальбейское, фосфоритовое Софроновское. Кроме того, определены значительные прогнозные ресурсы по меди, железной и хромовым рудам. На территории района запланировано строительство нескольких горно-обогачительных комплексов. Для реализации этих планов потребуются большое количество качественных местных строительных материалов для строительства автомобильных и железных дорог, а также заполнителей тяжелых бетонов.

Лаборатория инженерной геологии и технологии минерального сырья (ЛИГИТМиС) Ухтинского государственного технического университета (УГТУ) много лет сотрудничает с предприятиями Ямало-Ненецкого автономного округа, испытывая горные породы на стадии разведки и продукты переработки горных пород при эксплуатации месторождений. Испытания щебня проводятся по стандартным методикам [1, 2]. Определяются следующие физико-механические свойства: зерновой состав; истинная, насыпная, средняя плотность; пористость; пустотность; водопоглощение. Определяется содержание пылевидных и глинистых частиц; частиц размером менее 0,16 мм; зерен слабых пород; зерен пластинчатой и игловатой форм; удельная электрическая проводимость. Также устанавливаются марки щебня по дробимости, истираемости и морозостойкости. Испытания отсевов дробления щебня проводятся с целью определения пригодности использования их в качестве мелкого заполнителя в бетоны [3].

Месторождение амфиболитовое представлено интрузивными породами нижнепалеозойского возраста: габбро-амфиболитами и габбро-амфиболитизированными Енгаюского комплекса и пироксенитами Войкаро-Сыньинского комплекса. Породы мелко- и среднезернистые, массивные. Габбро-амфиболиты сложены преимущественно плагиоклазом (30–50%), роговой обманкой (40–65%), пироксениты — пироксеном на 90–100%. Обломки имеют массивную довольно равномерно-зернистую текстуру, порфировидную, гипидиоморфнозернистую структуру и пятнистую благодаря сочетанию зеленовато-черных и розовато-белых участков-вкраплений, окраску. Размеры фенокристаллов колеблются в интервале 0,4–1,2 см. Порода, как правило, не имеет сланцеватости и трещиноватости.

Месторождение известняков и вулканогенных пород Новогоднее представлено преимущественно андезито-базальтовыми порфиритами нижнего, среднего и верхнего девона, расположенными в верхней и нижней частях осадочно-вулканогенной толщи. При разработке средней карбонатной толщи в пробах появляются светло-серые и розоватые пестроокрашенные мраморизованные и темно-серые и черные битуминозные известняки — карбонатной толщи эйфельского яруса среднего и верхнего девона. Сплошность отложений нарушена многочисленными разрывными нарушениями сбросового и взбросового типов, вследствие чего породы имеют трещиноватость и микротрещиноватость.

Пробы месторождения Ензорское по минералогическому составу схожи с пробами месторождения Новогоднее. Среди частиц щебня из андезито-базальтовых порфиритов встречались обломки мраморизованных пестроокрашенных известняков, иногда имеющих розоватые оттенки.

Месторождение Подгорненское представлено глубинными магматическими интрузивными горными породами среднего состава — кварцевыми диоритами, состоящими из плагиоклаза, роговой обманки, кварца, реже биотита и авгита. Структура полнокристаллическая, текстура массивная.

Результаты испытаний физико-механических свойств продуктов дробления, проведенных в лаборатории в период с 1998 по 2010 г., приведены в таблице.

Испытания щебня проводились по фракционно. Полученные за ряд лет результаты испытаний позволяют изучить динамику изменения характеристик щебня. Если ранее мелкие фракции (размер 5–10, 10–20 мм) содержали больше зерен пластинчатой и игловатой форм, что снижало группу щебня по форме зерен до 3 и 4, в то время как крупные фракции размером 20–40 и 40–70 мм стабильно относились к 1-й группе, то в по-

Физико-механические свойства щебня и отсевов дробления горных пород

Показатели	Месторождение, наименование пород	Амфиболитовое, габбро-пироксениты	Новогоднее, андезито-базальтовые порфириды	Ензорское, андезито-базальтовые порфириды	Подгорненское, кварцевые диориты
Щебень					
Плотность насыпная, кг/м <sup>3</sup>		1440–1760	1340–1460	1125–1560	1320–1360
Плотность истинная, г/см <sup>3</sup>		3,05–3,17	2,73–2,95	2,75–2,77	2,78–2,9
Плотность средняя, г/см <sup>3</sup>		2,74–3,08	2,62–2,87	2,58–2,69	2,62–2,88
Пористость, об. %		2,6–12,7	0,7–4,4	2,2–6,2	0,7–6,5
Водопоглощение, мас. %		0,2–5,5	0,2–1	0,4–2	0,3–3,4
Содержание пылевидных и глинистых частиц, мас. %		0,1–0,3	0–1	0–0,1	0,1–0,4
Содержание зерен слабых пород, мас. %		0	0–2,7	0–0,3	0
Группа щебня по форме зерен [4]		1–4	1–4	1–3	1
Марка щебня по дробимости в цилиндре [4]		1400	1000–1400	1000–1400	1400
Марка по истираемости щебня в полочном барабане [4]		И1	И1	И1	И1
Марка по морозостойкости при ускоренном испытании в растворе сернокислого натрия [4]		F50–F400	F50–F300	F50–F200	F150–F400
Удельная электрическая проводимость, см/м					
– в насыщенном растворе		0,02–0,05	0,02	0,02	0,04
– в выпаренном растворе		0,06–0,11	0,05	0,14	0,18
Отсевы дробления					
Модуль крупности песка из отсевов дробления		2,6–4,2	2,9–4,5	3,1–3,3	3,6
Классификация песка по модулю крупности [5]		Крупный – очень крупный	Крупный – очень крупный	Повышенной крупности	Очень крупный
Плотность насыпная, кг/м <sup>3</sup>		1460–1580	1330–1530	1450–1520	1580
Плотность истинная, г/см <sup>3</sup>		3,03–3,11	2,73–2,86	2,74–2,75	2,9
Содержание глины в комках, мас. %		0	0	0	0
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе		1,1–7,7	0,8–6,8	2,9	2,2
Угол откоса, градус					
– в сухом состоянии			40–43	43	
– под водой		Не определялся	36–41	38	Не определялся
Коэффициент фильтрации при рыхлом сложении, м/сут		Не определялся	6,2–28	26,6	Не определялся
Классификация по коэффициенту фильтрации [6]		–	Сильно-водопроницаемый	Сильно-водопроницаемый	–

следнее время к 1-й группе относится щебень всех фракций. Произшедшие перемены мы связываем с применением у горнодобывающих предприятий современного оборудования. Установлено также, что форма зерен щебня существенно влияет на прочностные характеристики: истираемость, дробимость и морозостойкость фракций. Так, фракция щебня 5–10 обычно имеет более низкие показатели.

Андезито-базальтовые порфириды месторождения Ензорское при достаточно низкой пористости и водопоглощении показали меньшую прочность на сжатие и морозостойкость, что в первую очередь объясняется повышенной трещиноватостью и микротрещиноватостью пород.

Важно отметить, что кварцевые диориты месторождения Подгорненское по всем характеристикам относятся к высококачественному сырью. Высокая атмосферостойкость, прочность и красивая окраска позволяют рекомендовать породы для применения в строительстве при изготовлении блоков для кладки стен и фундаментов зданий и сооружений, облицовочных плит и камней, при строительстве дорог, тротуаров, набережных и других сооружений, к материалам которых предъ-

являются особые требования по прочности, долговечности и декоративности.

Качество щебня, полученного при переработке горных пород различных месторождений, оценивалось по ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия»; ГОСТ 7392–2002 «Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия». Все полученные характеристики соответствуют требованиям этих нормативных документов к щебню.

Отсевы дробления, поступающие для испытаний с разрабатываемых месторождений, по модулю крупности классифицируются как пески крупные, повышенной крупности и очень крупные. В получаемых пробах глина в комках отсутствует, содержание пылевидных и глинистых частиц не превышает допускаемых стандартом 10%, величина истинной плотности находится в пределах 2–2,8 г/см<sup>3</sup>, наличие зерен крупнее 10 и 5 мм не превышает допускаемых 5 и 20% соответственно. Материалы из отсевов дробления по водопроницаемости классифицируются как сильноводопроницаемые; они имеют достаточно большой угол откоса, что связано с формой частиц дробленого песка.

Испытанный песок из отсевов дробления отвечает требованиям ГОСТ 8736–93 «Песок для строительных работ. Технические условия». Его использование может снять острую проблему нехватки качественных природных песков. В местностях, где в основном распространены мелкие и тонкие пески, отсева дробления с модулем крупности выше 2,5 необходимы для составления щебеночно-песчаных, гравийно-песчаных и щебеночно-гравийно-песчаных смесей по ГОСТ 25607–94, применяемых для устройства покрытий, оснований и дополнительных слоев оснований автомобильных дорог и оснований аэродромов, а также для укрепления обочин автомобильных дорог.

Таким образом, проведенные испытания позволяют говорить о возможности широкого применения щебня и отсевов дробления описываемых месторождений в строительстве в качестве заполнителей для тяжелых, в том числе дорожных и гидротехнических бетонов, и в различных видах строительных работ. Смеси фракций 25–60 мм могут быть использованы для устройства балластного слоя железнодорожного пути во всех климатических зонах, включая заполярные районы.

УДК 621.315.613.4

С.М. НЕЙМАН, канд. техн. наук, НО «Хризотилловая ассоциация»;  
К.Н. ПОПОВ, канд. техн. наук, А.Г. МЕЖОВ, инженер,  
Московский государственный строительный университет

## **Исследование свойств хризотилцементных кровельных листов различного срока эксплуатации**

Современный рынок кровельных материалов очень широк. Выбор того или иного кровельного материала требует комплексного подхода. Необходимо учитывать множество факторов: конструктивные и эстетические требования к покрытию, климатические условия его эксплуатации, и не в последнюю очередь финансовые возможности застройщика.

По соотношению цены и качества среди промышленно изготавливаемых изделий для скатных кровель одно из ведущих мест занимают хризотилцементные листы — изделия с более чем вековой историей, используемые практически во всем мире. Простые в изготовле-

**Ключевые слова:** щебень, физико-механические свойства, месторождение, горная порода, отсева дробления.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 8269.0–97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2000. 100 с.
2. ГОСТ 7392–2002 Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2004. 7 с.
3. ГОСТ 8735–88 Песок для строительных работ. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1989. 32 с.
4. ГОСТ 8267–93\* Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1995. 27 с.
5. ГОСТ 8736–93\* Песок для строительных работ. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1995. 11 с.
6. ГОСТ 25100–95 Грунты. Классификация. М.: Изд-во стандартов, 1996. 30 с.

нии и при монтаже кровли, легкие (14 кг/м<sup>2</sup> по сравнению с керамической черепицей — до 70 кг/м<sup>2</sup>), при этом недорогие и долговечные.

Наиболее широко производство хризотилцемента во всем мире развивалось в 50–70-е гг. XX в. в связи с необходимостью восстановления жилого фонда и инфраструктуры городов стран — участниц Второй мировой войны. Большое количество предприятий появилось в СССР. К концу 1990-х гг. в стране работало 58 заводов. В настоящее время возраст кровель на некоторых зданиях, построенных в тот период, превышает 60 лет. Известны примеры значительно более длительного сро-

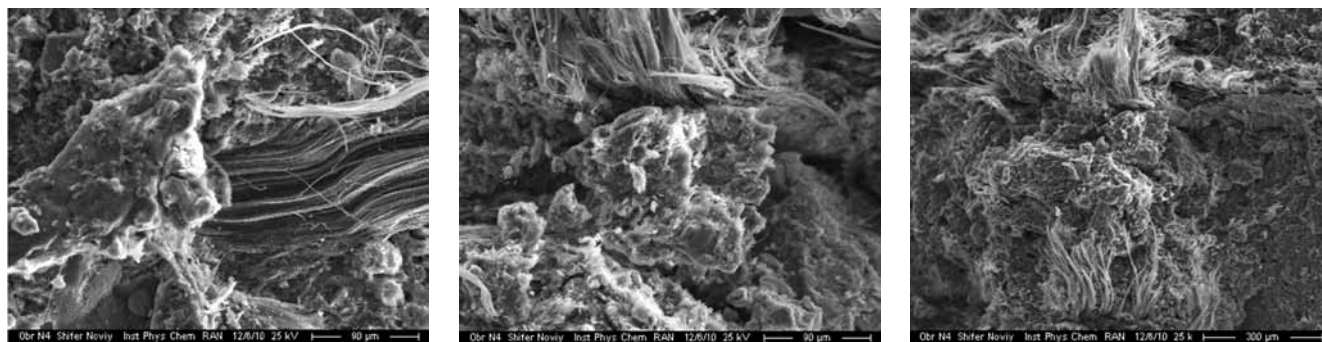


Рис. 1. Микрофотографии хризотилцемента в возрасте около 6 месяцев

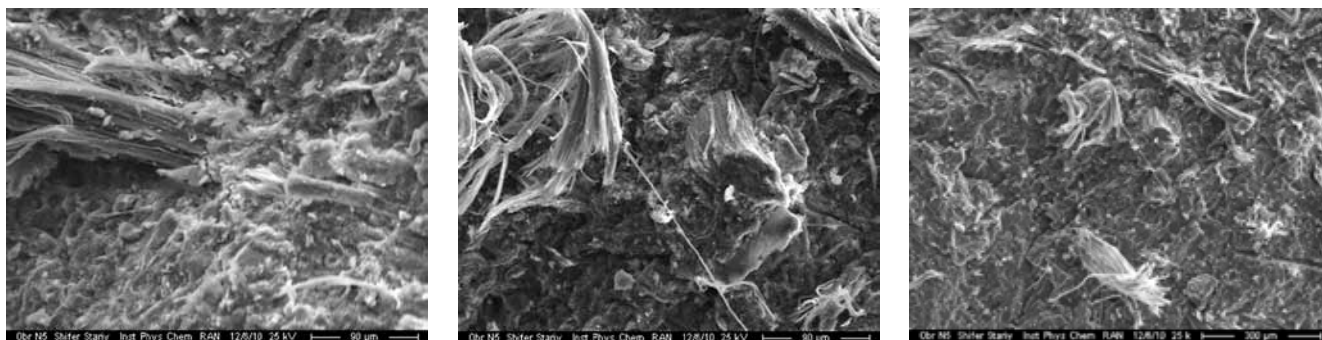


Рис. 2. Микрофотографии хризотилцемента в возрасте 60 лет

ка успешной эксплуатации хризотилцементных кровель. На западе России и на Украине до настоящего времени имеются крыши, выполненные из тонкой плоской черепицы толщиной 4 мм, изготовленной на первом в России шиферном заводе в п. Фокино Брянской области, запущенном в 1908 г. [1]. Точный срок изготовления плиток не известен, но производство плоских кровельных плиток было прекращено в конце 20-х гг. XX в., когда наладили выпуск волнистых листов. Следовательно, хризотилцементная «черепица» на этих домах имеет возраст более 80 лет. Дома под этими плитками перестраивали по 2–3 раза, а плитки возвращали на крышу.

Сведений о физико-механических характеристиках плиток и листов после столь длительной эксплуатации в литературе не найдено. Нормативными документами их величина регламентируется только для продукции в возрасте 7–28 сут и во время приема партии изделий заказчиком. В то же время исследования изменений характеристик кровельных хризотилцементных листов в процессе длительной эксплуатации представляют большой интерес. Сторонники антиасбестовой компании, начавшейся около 30 лет назад, говорят о загрязнении атмосферы волокнами, которые, по их утверждению, выделяются с поверхности хризотилцементных листов в процессе эксплуатации. В западной литературе есть даже расчетные данные о скорости выхода волокон из листовых изделий. При указанных скоростях выхода волокон хризотилцементные листы должны

были бы буквально раствориться в воздухе в течение 50 лет после установки на крыше. Однако экспериментальных данных об изменении толщины листов и других физико-механических свойств материала не обнаружено.

Хризотилцементные кровельные листы находятся на крышах десятки лет во многих регионах России и других стран в разных климатических зонах и сохраняют свои главные свойства: не пропускают воду, выдерживают снеговые нагрузки, защищают от УФ-излучения. Реальные длительные сроки эксплуатации хризотилцементных изделий свидетельствуют о фактическом сохранении ими своих физико-механических характеристик весь срок эксплуатации. Причем эксплуатационный ресурс хризотилцемента не исчерпывается после снятия листов с кровель или после прохождения по ним магистральной трещины.

Для получения информации о степени сохранности свойств кровельных хризотилцементных листов, в том числе их толщины в процессе длительной эксплуатации, в настоящей работе испытаны листы ВО, изготовленные на Воскресенском комбинате «Красный строитель». Листы ВО не выпускаются промышленностью уже более 30 лет; размер листов 1200×686 мм, толщина в соответствии с ГОСТ 378–76 «Листы асбестоцементные волнистые обыкновенного профиля и детали к ним» не менее 5,5 мм. Эксплуатировались изделия на крышах частных домов в п. Шиферный Московской области. Возраст листов – 30, 40 и 60 лет был определен субъективно на

**Результаты физико-механических испытаний листов ВО в сравнении с нормативными требованиями по ГОСТ 378-76**

№ листа	Срок службы, годы, не менее	Параметры образцов				
		Толщина, мм	$R_{изг}$ , МПа	Толщина, мм	$R_{уд}$ , кДж/м <sup>2</sup>	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>
Показатели по ГОСТ 378–76		5,5	16	5,5	1,5	1,6
1	30	5,9	17,6	5,5	1,6	1,76
				6,1	1,6	1,72
2	40	5,9	16,1	5,8	1,6	1,75
				6,2	1,7	1,72
3	40	6	16,3	5,8	1,9	1,54
				6,2	2	1,55
4	40	5,7	21,4	5,7	1,8	1,7
				5,7	2,1	1,69
5	60	5,7	15,9	5,4	1,8	1,74
				5,2	2	1,71
6	60	5,9	19,3	6	1,8	1,71
				5,7	1,8	1,72

основании данных владельцев строений. Некоторые листы к моменту отбора образцов после снятия с крыш владельцами хранились во дворах. Поверхность листов была загрязнена пылью, на части из них присутствовала поросль мха. Для испытаний брали листы без видимых повреждений поверхности.

В связи с малым количеством отобранных листов статистически достоверные испытания провести не удалось. Для предварительных испытаний из каждого листа выпилили по одному образцу для определения предела прочности при изгибе, по два — для определения ударной вязкости и плотности.

Физико-механические испытания отобранных листов выполнены в соответствии с действующим ГОСТ 8747–88 «Изделия асбестоцементные листовые. Методы испытаний» в августе 2010 г. в заводской лаборатории ОАО Комбинат «Красный строитель».

Учитывая незначительное количество испытанных образцов, для большей достоверности выводов в таблице приведены не средние показатели, а все частные результаты испытаний: для прочности при изгибе — 6 образцов, для остальных показателей — 12. В верхней строке таблицы для сравнения приведены нормативные показатели продукции по ГОСТ 378–76.

Приведенные данные показывают, что и толщина листов, и их физико-механические характеристики практически для всех испытанных образцов находятся в пределах требований нормативов. Лишь у двух образцов из 18 толщина на 2–5% ниже нормы, у двух образцов из 12 плотность на 3–4% ниже. На основании этого можно сделать вывод, что физико-механические свойства хризотилцементных листов ВО в период всей эксплуатации в течение 30–60 лет в климатических условиях Московской области соответствуют требованиям действующего ГОСТа, то есть не отличаются от начальных параметров. При этом важно отметить сложный экологический режим эксплуатации листов в Воскресенском районе Московской области: при большом числе температурно-влажностных перепадов, характерных для региона, на листы действовали также загрязнения от работы самого мощного в России химического комбината.

Поскольку принятые нормативные требования по пределу прочности при изгибе, плотности и ударной вязкости к волнистым листам СВ-40, выпускаемым в настоящее время по ГОСТ 30340–95 «Листы асбестоцементные волнистые. Технические условия», совпадают с требованиями ГОСТ 378–76 к листам ВО, нет оснований предполагать другую тенденцию поведения современных изделий при их эксплуатации.

Таким образом, проведенные испытания образцов хризотилцементных листов со сроком эксплуатации в натуральных условиях до 60 лет не выявили отклонений от нормативных требований, что вновь подтвердило репутацию хризотилцементных кровельных листов как долговечного материала. Высокие физико-механические свойства хризотилцемента обуславливаются как уникальными свойствами природного волокнистого минерала хризотила, так и уникальной послойной фильтр-прессовой технологией с армированием тонких пленок хризотилловыми волокнами [2, 3], в результате которой образуется многослойная композиция из портландцемента и хризотилловых волокон.

Выявленная в работе неизменность толщины хризотилцементных листов в процессе их эксплуатации позволяет надежно опровергать утверждения о возможности выхода из них волокон хризотила, так как для освобождения волокон из цементной матрицы должен разрушаться последовательно один поверхностный слой за другим, что только и может привести к уменьшению толщины изделий.

Результаты дополнительных микроскопических исследований образцов хризотилцементов из листов разного возраста (6 месяцев — листы СВ-40, 60 лет — листы ВО), в том числе характера размещения в них хризотилловых пучков и волокон, также показали неизменность материала листов при эксплуатации их в атмосфере.

Свежий скол образцов исследовали с помощью ретрового электронного микроскопа JSM-U3 фирмы JEOL (Япония) и рентгеновского спектрометра с энергетической дисперсией фирмы GETAC (Германия). Работа проводилась в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН. Образцы крепили на графитовой подложке с помощью двустороннего электропроводящего скотча. Для придания объекту электропроводимости на него наносили слой углерода толщиной в несколько нанометров методом вакуумного термического напыления. Просмотр объектов вели при ускоряющем напряжении 25kV и токе электронного пучка  $\sim 10^{-9}$  А.

Из приведенных снимков (рис. 1, 2) видно, что структура поверхности хризотилцементных образцов из листов, существенно различающихся сроками эксплуатации, близка по очертанию зерен цементной матрицы, но отмечено различие степени ее плотности: в образцах 6-месячного возраста структура более рыхлая, чем в образцах 60-летнего возраста, с большими нарушениями сплошности в виде длинных и широких щелей. Этим наглядно показано, что степень закрепления хризотилловых волокон в цементной матрице с возрастом хризотилцементных изделий растет за счет уменьшения пористости материала, повышения сил обжатия волокон матрицей и, очевидно, за счет более активного взаимодействия продолжающегося твердеть портландцемента с волокнами хризотила. В расположении пучков хризотила и отдельных волокон в матрицах затвердевшего портландцемента не наблюдается различий для образцов разного возраста. На всех снимках отмечается нераспущенные пучки хризотила и волокна, видимые как отдельные. Концы некоторых пучков остались при сколе образцов в матрице (рис. 1, а, 2, а), другие — «торчат» из матрицы (рис. 1, б, в; 2, б, в сделаны при разном увеличении). Отсутствие различий в расположении и закреплении волокон, на наш взгляд, также убедительно свидетельствует об удержании волокон хризотила в цементной матрице в течение всего периода службы изделий.

Таким образом, полученные в работе данные физико-механических испытаний хризотилцементных листов с существенно различающимся сроком службы и микроскопических исследований их поверхности показывают неизменность свойств хризотилцементов в течение длительного (до 60 лет) срока эксплуатации. Полученные данные также опровергают имеющиеся в публикациях заявления о том, что у хризотилцементных изделий в процессе эксплуатации уменьшается толщина и из них выделяются в атмосферу хризотилловые волокна. Все это подтверждает неоспоримые преимущества хризотилцементных кровельных изделий с экологической, эксплуатационной и экономической точек зрения по сравнению со многими кровельными материалами и изделиями.

#### Список литературы

1. *Комаров Ю.Т.* 100-летний юбилей Брянского асбестоцементного завода // Строит. материалы. 2008. № 9. С. 34–35.
2. *Соколов П.Н.* Технология асбестоцементных изделий. М., 1960 г.
3. *Берней И.И.* Теория формирования асбестоцементных листов и труб. М.: Стройиздат, 1988.



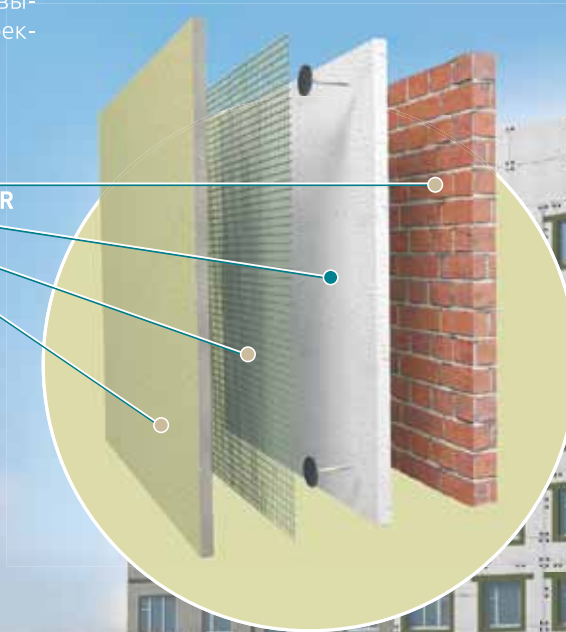
# НАРУЖНОЕ УТЕПЛЕНИЕ ПОСТРОЕННЫХ И ВНОВЬ ВОЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ

Эффективное утепление жилых зданий обеспечит использование современных утеплителей из пенополистирола. Высокие теплоизоляционные свойства пенополистирола на 40% снижают затраты на отопление, что позволяет выполнить требования Федерального закона РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Пенополистирол способен длительное время нести высокую механическую нагрузку, не подвергаясь деформации, а высокая влагостойкость обеспечивает долговечность конструкции и увеличение срока службы сооружения в целом.

Тепло- и звукоизоляционные свойства пенополистирола надолго сохраняют тепло и уют в доме.

несущая стена  
пенополистирол из ALPHAPOR  
сетка  
штукатурка



Использование нового сырья европейского качества ALPHAPOR гарантирует высокие свойства, экономичность и безопасность пенополистирола. Созданный по австро-норвежской технологии вспенивающийся пенополистирол ALPHAPOR предназначен для производства теплоизоляции, несъемной опалубки, пенополистирольных блоков для строительства дорог и мостов, упаковки бытовой техники и пищевой упаковки. Все марки ALPHAPOR соответствуют строгим

европейским нормам по гранулометрическому составу, плотности и физико-механическим характеристикам, а благодаря содержанию антипиренов, материалы из ALPHAPOR пожаробезопасны.

**ALPHAPOR — ОСНОВА  
СОВРЕМЕННОГО УТЕПЛЕНИЯ**

[www.alphapor.ru](http://www.alphapor.ru)



**alphapor**

# Rotband Family, или Семейство Ротбанд

Популярный в среде профессиональных строителей и домашних мастеров универсальный гипсовый штукатурный состав для внутренних работ КНАУФ-Ротбанд стал основой новой линии материалов эконом-класса для качественной отделки и ремонта, которую немецкая компания выводит на российский строительный рынок.

## Не болит голова у потребителя

В основе производственной политики компании КНАУФ — системный, комплексный подход к решению любых задач, которые возникают в ходе строительства, отделки или ремонта. Этот подход реализован в комплектных системах для сухого строительства с применением гипсовых КНАУФ-листов или цементных плит АКВАПАНЕЛЬ®. Этой же дорогой немецкая фирма следует при разработке новых линий отделочных материалов — сухих смесей и готовых составов для отделки и ремонта.

У подобного подхода целый ряд преимуществ. Главное из них — идеальная сочетаемость материалов друг с другом и их взаимодополняемость, а в ряде случаев и взаимозаменяемость. Новое семейство КНАУФ-Ротбанд на сегодняшний день объединяет четыре продукта: грунтовочный состав КНАУФ-Ротбанд Грунд, универсальную гипсовую штукатурку КНАУФ-Ротбанд, тонкослойные шпаклевки для финишной подготовки поверхности под декоративную отделку КНАУФ-Ротбанд Финиш и КНАУФ-Ротбанд Пасту.

## Ротбанд — основатель семейства

«KNAUF ROTBAND. Штукатурка гипсовая для потолков и стен» представляет собой сухую смесь и по праву называется хитом отечественного строительного рынка. Ротбанд универсален не только по своему функциональному назначению, но и по многим другим параметрам. Во-первых, с ним могут успешно работать как профессиональные мастера, так и начинающие штукатуры,

а также любители делать ремонт своими руками. Во-вторых, маркетологам КНАУФ удалось найти некое идеальное и универсальное для российского рынка соотношение цены и качества, а также обеспечить повсеместную доступность материала: купить универсальный сухой штукатурный состав КНАУФ-Ротбанд можно как в крупных специализированных, в том числе сетевых магазинах, так и на любом строительном рынке практически по всей территории России.

## Ротбанд Грунд — надежная основа семейства

Исключение из технологической цепочки такого важного процесса, как грунтование, — одна из самых распространенных и грубых ошибок, следствием которой может стать повторный ремонт через короткий промежуток времени.

При отделке гипсовой штукатуркой КНАУФ-Ротбанд неоднородных сильно впитывающих минеральных оснований, таких как пеногазобетон, керамический и силикатный кирпич и др., поверхность необходимо тщательно загрунтовать. Для этих целей немецкой компанией КНАУФ разработан новый грунтовочный состав КНАУФ-Ротбанд Грунд. Этот же состав может использоваться в качестве основы и под другие растворные смеси на гипсовом вяжущем, в частности под гипсовые наливные полы КНАУФ-Боден.

КНАУФ-Ротбанд Грунд — полностью готовая к применению водно-полимерная эмульсия красного цвета, состав которой включает около шести различных компо-



**Материалы семейства Ротбанд**

Наименование продукта	Форма выпуска	Ориентировочный расход, кг/м <sup>2</sup>	Толщина слоя, мм	Основные области применения
Грунтовка КНАУФ-Ротбанд Грунд	Готовая к применению водно-полимерная эмульсия	0,4	-	Подготовка сильновпитывающих оснований (газо- и пенобетон, кирпич и др.)
Универсальная штукатурная смесь КНАУФ-Ротбанд	Сухая смесь	8,5	5–50	Выравнивание поверхностей с обычным твердым основанием (бетон, кирпич, цементная штукатурка и др.), а также из пенополистирола, ЦСП
Финишная шпаклевочная смесь КНАУФ-Ротбанд Финиш	Сухая смесь		0,2–5	Финишное шпаклевание КНАУФ-листов (кроме заделки стыков), гипсовых и цементных штукатурок, бетонных поверхностей
Финишная шпаклевочная смесь КНАУФ-Ротбанд Паста	Готовая к применению пастообразная смесь	0,30-0,35* 1,7**	<3	1. Финишное шпаклевание КНАУФ-листов, гипсовых и цементных штукатурок, бетонных поверхностей. 2. Шпаклевание стыков КНАУФ-листов, заделка стыков КНАУФ-листов с утоненной кромкой и прямой обрезной кромкой

\*При заделке стыков КНАУФ-листов с утоненной кромкой

\*\*При сплошном шпаклевании поверхности слоем толщиной 1 мм

ментов (см. таблицу). Механизм действия заключается в создании изолирующей пленки, препятствующей переходу влаги из штукатурного раствора в основание, способствующей более равномерному схватыванию рас творной смеси и лучшему сцеплению штукатурного слоя с основанием. Такой высокотехнологичный продукт по определению не может быть дешевым. В то же время, если пересчитать стоимость материала на единицу площади (расход КНАУФ-Ротбанд Грунд составляет всего 0,4 кг/м<sup>2</sup>), то затраты оказываются не так уж велики. И безусловно, они не идут ни в какое сравнение с расходами на переделку всей работы из-за образования трещин, отслоения штукатурки, порчи декоративного покрытия и других неприятных последствий, к которым приводит отказ от использования грунтовочных составов.

Популярность Ротбанда вызвала лавину подделок, которые могли бы дискредитировать материал и снизить спрос на него. Чтобы отмежеваться от некачественного фальсификата, компанией КНАУФ достаточно оперативно была принята система мер, добавлены новые уровни защиты упаковки. В настоящее время фирма КНАУФ предпринимает шаги для распространения успеха легендарной гипсовой штукатурки на другие продукты, объединенные брендом КНАУФ-Ротбанд.

**Шпаклевочные составы КНАУФ-Ротбанд на финише отделки**

На финишной стадии отделки непосредственно перед нанесением декоративного покрытия для заделки неров-

ностей и получения гладкой, ровной и прочной поверхности КНАУФ предлагает выбор между двумя материалами: КНАУФ-Ротбанд Финиш – сухой шпаклевочной смесью на основе гипсового вяжущего с полимерными добавками и КНАУФ-Ротбанд Паста – полностью готовой к применению пастообразной шпаклевочной смесью. Оба материала высокопластичны, безусадочны, удобны в применении, после высыхания на зашпаклеванной поверхности не образуется трещин. Каждый из вариантов финишной шпаклевки имеет свои преимущества.

Как сухая смесь, так и готовая паста предназначены для сплошного тонкослойного шпаклевания стен и потолков из гипсокартона (КНАУФ-листов), бетона, а также поверхностей, предварительно оштукатуренных гипсовыми и цементными составами. КНАУФ-Ротбанд Паста помимо вышперечисленного используется для шпаклевания стыков КНАУФ-листов, предварительно заделанных специальными шпаклевочными составами КНАУФ-Фуген или КНАУФ-Унифлот, а также для заделки стыков КНАУФ-листов с утоненной и прямо обрезанной кромками.

Оба материала позволяют получить идеально ровное, гладкое основание, которое подойдет под окраску или оклейку обоями, в том числе тонкими. Прощаклеванную поверхность после полного высыхания при необходимости можно отшлифовать.

Все продукты новой линии Ротбанд имеют улучшенную рецептуру, предназначены для внутренних работ и могут применяться как в комплексе, так и самостоятельно.

По вопросам крупных оптовых поставок обращайтесь в сбытовые организации КНАУФ:  
 КНАУФ МАРКЕТИНГ Красноярск, тел. +7 (495) 937 95 95;  
 КНАУФ МАРКЕТИНГ Санкт-Петербург, тел. +7 (812) 718 81 94;  
 КНАУФ МАРКЕТИНГ Новосибирск, тел. +7 (48762) 29 291;  
 КНАУФ МАРКЕТИНГ Краснодар, тел. +7 (861) 267 80 26;  
 КНАУФ МАРКЕТИНГ Челябинск, тел. +7 (351) 774 21 45.





# СТРОИТЕЛЬНАЯ & ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА

www.sibbuild.ru



**SibBuild**  
**СтройСиб**  
МВЦ «NOVOSIBIRSK EXPO CENTRE»

**31 января – 3 февраля 2012**

- Строительные материалы и оборудование
- Инструменты и крепеж
- Бетоны. Растворы  
Бетонные заводы

**WinTecExpo  
Novosibirsk**

приходит в Новосибирск!

Генеральный  
интернет-партнер

**tybet.ru**

**14 февраля – 17 февраля 2012**

- Отделочные материалы
- Двери и замки
- Краски. Сухие  
строительные смеси
- Керамика. Сантехника
- Бассейны и сауны
- Натуральный и  
искусственный камень
- Инженерное оборудование
- Электрика. Системы  
автоматизации зданий

**ufi**

Организаторы



ITE Сибирь  
тел.: +7 (383) 363 00 63  
sibbuild@sibfair.ru  
www.sibfair.ru

Генеральный  
информационный  
спонсор

**BLIZKO**  
РЕМОНТ

Официальный  
партнер

**Стройка**  
ГЛАВНАЯ ГАЗЕТА

Генеральный  
интернет-партнер

**STROKA.RU**

Информационные  
партнеры

**Орбита**

**Специальный  
Крепеж**

**КРОВЛИ**

**Специальная  
Техника**

**Специальная  
Техника**

**ПРОФ**

**СТРОИТЕЛЬСТВО**

**DC**



# Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства

16–18 апреля 2011 г. в Каире (Египет) состоялась III Международная конференция «Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства», которые проводятся в Египте с 2009 г. Открытие конференции началось с кратких приветствий организаторов: Египетско-Российского университета (д-р Шериф Хелми), Национального исследовательского центра по строительству (проф. Мустафа Ед-Демирдах) и Ижевского государственного технического университета (проф. Г.И. Яковлев). Советник управляющего директора ОАО «РОСНАНО» А.В. Петушков выразил уверенность в необходимости проведения подобных конференций с целью интенсификации внедрения нанотехнологий в строительное производство.

Конференция включала несколько направлений применения нанотехнологий в строительстве: нанокompозиты в строительных материалах, огнезащита с использованием нанотехнологий, нанотехнологии в производстве стекла и изделий из него, моделирование нанокompозитов, модификация минеральных вяжущих наносистемами и др.

В работе конференции принимали участие представители Египта, России, Беларуси, Чехии, Франции и Саудовской Аравии. Известные события в Египте привели к ограничению участников из стран Западной Европы. Тем не менее были представлены два доклада из Чехии (Технологический университет Брно), доклад из Франции (корпорация «Аркема»). На конференции было заслушано 23 доклада.

Пленарное заседание началось с выступления проф. ИжГТУ Г.И. Яковлева о состоянии исследований по модификации цементных бетонов углеродными нанотрубками. Всего от ИжГТУ было представлено 8 докладов, включающих исследования по модификации строительных материалов углеродными наносистемами.

В конференции принимали участие ученые из Омского политехнического университета (проф. В.А. Мышляев), Казанского архитектурно-строительного университета (проф. В.Г. Хозин и руководитель центра «Нанотех» КазГАСУ Л.Ф. Мубаракшина), Белорусского Национального Технического университета (проф. С.Н. Леонович).

Интересный доклад был сделан представителем исследовательского центра корпорации «Аркема» (Франция) доктором А. Корженко о разработках наноматериалов, готовых к массовому использованию для модификации композиционных материалов строительного назначения, включая бетоны и растворы на различных видах минеральных вяжущих. В докладе отмечалось, что строительная индустрия является наиболее емким потребителем углеродных наносистем, производимых корпорацией. Поэтому совместные с ИжГТУ исследования по модификации строительных материалов являются приоритетными для дальнейшего продвижения нанотехнологий.

В работе конференции принимали участие ученые из исследовательского центра Госстроя Египта, которые представили 11 докладов.

Конференции предшествовала насыщенная культурная программа с посещением пирамид и Египетского национального музея. Вечером состоялся прием для участников конференции, на котором присутствовали министр образования Египта, представители Госстроя Египта.

Подобные мероприятия стимулируют совместные исследования по нанотехнологиям, позволяют обмениваться мнениями между учеными разных стран и способствуют практическому продвижению нанотехнологий в строительное производство конференции. Участники конференции выразили уверенность в необходимости проведения таких форумов в будущем с дислокацией места проведения как в Египте, так и в России.



С докладом выступает проф. Г.И. Яковлев



Знакомство с секретами технологий строителей пирамид



Группа участников конференции из России и Беларуси



Продолжение конференции в кулуарах



В зале заседаний

Г.И. Яковлев

**ЮБИЛЯРЫ ОТРАСЛИ****ОАО «Кирпич силикатный» – 50 лет**

Одно из старейших предприятий стройиндустрии Республики Мордовия – ОАО «Кирпич силикатный» ведет свою историю с 1961 г. В июне 1961 г. был выпущен первый силикатный кирпич в Мордовии на Ковылкинском заводе силикатного кирпича (КЗСК). В 2002 г. его право-преемником стал ОАО «Кирпич силикатный». В 1995–1996 гг. завод переживал сложные времена, с конца октяб-

ря 1996 г. работа активизировалась. Было возобновлено производство силикатного кирпича, подобрана команда рабочих кадров. В феврале 2000 г. на заводе выпущены первые блоки из ячеистого бетона автоклавного твердения. В 2007 г. завод вышел на проектную мощность 100 тыс. м<sup>3</sup> блоков в год.

В настоящее время на предприятии работает пресс фирмы Lasco, внедрен комплекс для выпуска цветного кирпича, машина для выпуска рустированных изделий.

**40 лет ОАО «Цигель»**

Первую продукцию Зеленокумский завод силикатного кирпича (Ставропольский край) выпустил в феврале 1971 г. Годовой выпуск завода тогда составлял 18 млн шт. усл. кирпича, мощность завода – 60 млн шт. в год. Большая часть продукции – 65% востребована строителями Ставрополя, 35% реализуется за его пределами.

В настоящее время ОАО «Цигель» выпускает 16 видов силикатного кирпича различных фасонов. Освоен выпуск цвет-

ного силикатного кирпича объемного окрашивания, фактурного кирпича – «колотый» и «рваный камень». Работает участок по производству тротуарной плитки.

Специалисты завода ведут постоянную работу по расширению ассортимента продукции и улучшению ее качества.

В планах завода расширение производства и ассортимента выпускаемой продукции. Оцениваются возможности закупки немецкого прессового оборудования, позволяющего выйти на европейский уровень качества.

**НОВОСТИ КОМПАНИЙ****В г. Волжский будут выпускать газобетон**

В апреле специалистами компании «Wehrhahn GmbH» (Германия) и инженерами ООО «ВПА» (Волгоградская область) были завершены электромонтажные, монтажные и пусконаладочные работы линии WEHRHAHN по производству автоклавного газобетона на заводе ООО «ГБЗ-1».

В течение четырех месяцев была запущена АСУ участков: мельницы для песка, дозирования и смешивания, передаточной платформы кантователя, резательной установки, установки поперечной резки, погрузчика, транспортировки автоклавных поддонов, автоклавов.

Система автоматизации включает в себя 9 контроллеров Siemens S7-300, более 20 станций удалений периферии на базе модулей Wago, 19 частотных преобразователей фирмы SEW, 4 рабочих места оператора.

Ожидается, что мощность предприятия составит до 200 тыс. м<sup>3</sup> газобетонных блоков в год. Чтобы обеспечить их быструю реализацию, в планах – производство плит перекрытия, а также строительных смесей и клея, которые должны использоваться при возведении домов из нового материала.

*По материалам пресс-службы  
Администрации Волгоградской области*

**Новый материал от ТехноНИКОЛЬ**

В апреле 2011 г. на заводе «Технофлекс» в Рязани Корпорация ТехноНИКОЛЬ начала производство нового рулонного кровельного битумно-полимерного материала Техноэласт СОЛО РП1. Материал обладает улучшенными физико-механическими и противопожарными характеристиками. Получают его путем нанесения на армирующую полиэфирную основу битумно-полимерного связующего, сверху материал защищают крупнозернистой посыпкой, снизу – полиэфирным полотном, что значительно упрощает процесс наплавления или приклеивания на мастику. За счет применения специальных добавок материал не распространяет пламя (группа распространения пламени РП1) и является умеренно воспламеняемым (группа воспламенения В2).

Материал предназначен для устройства рулонных кровель в один слой различными способами: механической фиксацией, приклеиванием на мастику, наплавлением, частичным наплавлением. Может укладываться при помощи автоматического оборудования, применяется там, где запрещено использовать открытое пламя, возможна укладка на горючие основания, а также устройство дышащей кровли. Отличительной особенностью материала является посыпка из алюминизированного сланца, который создает дополнительную защиту от солнечного излучения. Он обладает отражающей способностью, превышающей таковую серого сланца в три раза. Благодаря этому кровля меньше нагревается и лучше защищена от преждевременного старения.

*По материалам пресс-службы  
Корпорации ТехноНИКОЛЬ*

**Завод Rockwool в Индии**

В мае 2011 г. компания Rockwool открыла новый завод в Индии. Предприятие будет производить высокотехнологичные материалы для изоляции горячих труб, котлов, резервуаров в быстро растущих промышленных отраслях в Индии и соседних странах. Инвестиции в строительство завода составили 22,7 млн евро. Его мощность 30 тыс. т в год. Завод расположен в г. Дахей на западном побережье штата Гуджарат. Таким образом, будет трудоустроено до 200 человек.

Основное направление – производство технической изоляции для промышленности. Второе, обладающее большим потенциалом, – это теплоизоляция зданий. В настоящее время в Индии большую часть потребляемой энергии расходуют на охлаждение зданий. Использование изоляции вместо кондиционера для сохранения прохлады в доме имеет очевидные преимущества.

*По материалам группы компаний Rockwool*



НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**Группа ЛСР приобретает оборудование**

ОАО «Победа ЛСР» (предприятие Группы ЛСР) заключило контракты с германскими компаниями Händle и Hans Lingl на производство и поставку оборудования для кирпичного завода общей мощностью 220 млн шт. усл. кирпича в год, строительство которого компания ведет в Ленинградской области. Общая сумма контрактов составляет 32,03 млн евро.

Согласно условиям контракта компания Händle окажет весь комплекс инжиниринговых услуг, а также изготовит и поставит оборудование по подготовке необходимого объема сырья для кирпичного завода, включая лицевой и поризован-

ный кирпич, дорожную плитку. Поставка оборудования начнется в июле 2011 г., а монтаж и ввод в эксплуатацию будет завершен до июня 2013 г.

Компания Hans Lingl обеспечит весь комплекс инжиниринговых услуг, а также изготовление и поставку оборудования для технологической линии по производству готовой продукции, от пустотелого до поризованного кирпича, общей мощностью 120 млн шт. усл. кирпича в год. Поставка оборудования также начнется уже в июле этого года, а монтаж и ввод в эксплуатацию будут завершены в апреле 2013 г.

По материалам ОАО «Группа ЛСР»

**Продукция «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» прошла аттестацию**

Холдинг «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» первым из отечественных цементных компаний успешно прошел добровольную систему экологической сертификации на соответствие стандарту «EcoMaterial 1.2». Аудит предприятий холдинга провела «EcoStandard group» – первая организация в РФ, аккредитованная в международном сообществе по зеленому строительству U.S. Green Building.

Неотъемлемой частью полного комплекса аудита продукции, подлежащей сертификации, является аудит производственного предприятия, претендующего на соответствие нормам стандарта. В период с ноября 2010 по апрель 2011 г. статус экологически безопасного строительного материала получила продукция большинства предприятий холдинга.

За время проведения аудита на предприятиях «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» с целью исследования на соответствие стандарту готовой продукции представители официального аудитора проекта встретились со специалистами предприятий, всесторонне изучили предоставленную полную информацию об используемом сырье, готовом материале, упаковке; были взяты образцы всех выпускаемых марок цемента. По результатам проведенных специалистами «EcoStandard group» исследований продукция предприятий холдинга «ЕВРОЦЕМЕНТ групп», принявших участие в аудите, признана соответствующей стандарту «EcoMaterial 1.2. Экологически безопасные строительные материалы».

По материалам пресс-службы «ЕВРОЦЕМЕНТ групп»

**Производители цемента переходят на автоцементовозы**

Ухудшение диспетчеризации на рынке грузовых железнодорожных перевозок и дефицит подвижного состава привели к тому, что основные производители цемента стали ориентироваться на перевозки автомобильным транспортом.

Автоцементовозы дают возможность повысить маржинальность за счет отказа от посредников и перехода на прямые контракты с клиентами, не имеющими возможности принимать цемент по железной дороге. Перевозки автомобильным транспортом позволяют производителям доставить цемент непосредственно на строительную площадку, в результате посреднические структуры могут быть в среднесрочной перспективе вытеснены с рынка.

По оценке специалистов агентства, при стоимости цемента в среднем 3,2 тыс. р. за тонну реальная рентабельность производителей по чистой прибыли составляет от 15 до 30% (у производителей тампонажного цемента – до 50%). В настоящее время возможности использования автоцементовозов ограничены расстоянием, как правило до 400–500 км, однако формирование производителями цемента собственного парка цементовозов и сохранение нестабильной ситуации с отгрузками железнодорожным транспортом создают предпосылки расширения радиуса рентабельной поставки цемента автомобильным транспортом до 700 км (в некоторых случаях до 1000 км).

По материалам «РБК. Исследования рынков»

НОВЫЕ КНИГИ

Рахимов Р.З., Шелихов Н.С., Смирнова Т.В.

**Теплоизоляция из каменной ваты**

М.: Изд-во АСВ, 2010. 312 с.

В учебном пособии приведены общие сведения о теплоизоляционных строительных материалах; истории развития и технологии производства минераловатных теплоизоляционных материалов и изделий на основе каменных расплавов из изверженных горных пород; номенклатуре теплоизоляционных материалов на основе каменной ваты; тепловой изоляции строительных ограждающих конструкций зданий, трубопро-

водов и промышленного оборудования с применением теплоизоляционных материалов из каменной ваты; физико-технических основах проектирования теплозащиты зданий и сооружений; основах теплотехнических расчетов ограждающих конструкций зданий, трубопроводов и промышленного оборудования.

Издание предназначено для студентов высших учебных заведений строительного профиля, может быть полезно для преподавателей, аспирантов, работников строительных и проектных организаций, служб эксплуатации зданий и сооружений, предприятий по производству теплоизоляционных материалов.

Юдина Л.В.

**Испытание и исследование строительных материалов**

М.: Изд-во АСВ, 2010. 232 с.

В книге рассматриваются теоретические основы и методики выполнения лабораторных работ по курсу «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» в соответствии с государственным образовательным стандартом высше-

го профессионального образования по направлению подготовки «Строительство». Книга включает следующие основные разделы: неорганические и органические вяжущие, бетоны, строительные растворы, полимерные материалы, а также материалы специального функционального назначения.

Учебное пособие предназначено для студентов высших и средних учебных заведений строительных специальностей, а также для инженерно-технических работников строительной отрасли.

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до 4-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желателен представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи и не содержать перечень всего ранее опубликованного автором, что перегружает объем статьи и часто является элементом саморекламы.

Кроме того, статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий. Статьи, направляемые в редакцию журнала «Строительные материалы»®, должны соответствовать следующим **требованиям**:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т.п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); распечаткой, лично подписанной авторами; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языке; подтверждением, что статья предназначена для публикации в 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.

В 2006 году в журнале «Строительные материалы» был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомится с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)



Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства [www.rifsm.ru/page/7](http://www.rifsm.ru/page/7)