

**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 статьи  
в порядке обсуждения,  
не разделяя точку зрения автора

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

Редакция не несет ответственности  
за содержание рекламы и объявлений

**Адрес редакции:**

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

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

**E-mail: mail@rifsm.ru**

**http://www.rifsm.ru**

### Керамические строительные материалы

Г.И. СТОРОЖЕНКО, Г.В. БОЛДЫРЕВ

**Опыт работы кирпичных заводов полусухого прессования с эффективной массоподготовкой глинистого сырья** ..... 3

Дан анализ работы заводов полусухого прессования, построенных в Западной Сибири и Красноярском крае для реализации программы «Жилье-2000». Описаны технологические достоинства и потенциальные возможности, заложенные в принятых технологических решениях. Предложена новая технологическая схема для реконструкции существующих заводов и строительства новых.

В.Д. КОТЛЯР, Ю.В. ТЕРЕХИНА, Ю.И. НЕБЕЖКО

**Перспективы развития производства керамического кирпича полусухого прессования** ... 6

Выявлены принципиальные ошибки в использовании сырья и технологии кирпичного производства. Обосновано использование способа полусухого прессования для производства, как рядового, так и лицевого кирпича.

Г.Д. АШМАРИН, В.В. КУРНОСОВ, С.Е. БЕЛЯЕВ, В.Г. ЛАСТОЧКИН

**Обоснование эффективности компрессионного формования керамических строительных материалов** ..... 8

Представлена технология компрессионного формования (полусухого прессования) для заводов и цехов мощностью 10–30 млн шт. усл. кирпича. Показано, что такой завод может выпускать широкий ассортимент продукции из различных видов сырья. Снижение капиталоемкости технологической линии и себестоимости продукции достигается за счет применения одного теплового агрегата, сокращения количества единиц оборудования и снижения температуры обжига.

А.Ю. СТОЛБОВУШКИН

**Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья** ..... 10

Обоснована необходимость создания принципиально новой технологии приготовления керамических пресс-порошков в виде опудренных гранул. Приведена схема формирования пространственно организованной ячеистой заполненной структуры композиционного керамического материала, обеспечивающей получение из промышленных отходов стеновой керамики с высокими физико-техническими характеристиками.

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, Г.Я. ШАЕВИЧ, С.Г. МАКАРОВ, Н.И. ШКУРКИН

**Новый автомат для резки пластичного бруса** ..... 16

Рассмотрены недостатки существующих однострунных резательных автоматов. Представлена конструкция и приведены технические характеристики нового резательного автомата РАШЛ-3, позволяющего значительно снизить нагрузки на режущую струну и улучшить динамичность работы устройства.

А.Е. АБАКУМОВ, В.М. ПОГРЕБЕНКОВ, К.В. МАРКОВ, В.В. ГОРБАТЕНКО

**Пути улучшения структуры бруса при пластическом формовании керамического кирпича** ..... 18

Показано, что модернизация формовочной оснастки является менее затратным мероприятием по сравнению с работами по модернизации сушильного комплекса предприятия, но обладает сопоставимым технологическим эффектом. Сделан сравнительный анализ разных конструкций формовочной оснастки, показана роль каждого элемента в формировании структуры бруса. Предложено использовать оснастку из корундовой керамики, что позволяет стабилизировать параметры формования на оптимальном уровне в течение длительного времени.

Р.Р. АХТЯМОВ, Б.Я. ТРОФИМОВ

**Организация производства элементов блочной футеровки вагонеток из жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем** ..... 21

Рассмотрены проблемы повышения эффективности футеровки обжиговых вагонеток путем использования жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем повышенной термостойкости. Приведен пример организации участка по производству блочной футеровки вагонеток на кирпичных заводах.

### Нерудные строительные материалы

КАППХАН Михаэль

**Добыча мела в зимних условиях** ..... 25

Представлена наиболее оптимальная схема добычи и транспортировки мела из карьера в зимнее время. Она включает применение роторных экскаваторов и гидравлического транспорта с использованием мобильного шламоприготовителя.

В.Л. БАРОН

**Исследования безопасности взрывных работ** ..... 30

Представлены результаты работы Ассоциации «Союзвзрывпром», направленные на повышение безопасности буровзрывных работ. На основании полученных данных разработаны и внедрены на объектах Ассоциации различные «Руководства...», способствующие повышению эффективности работы и снижению травматизма

**Взрывные и безвзрывные способы разрушения скальных пород на карьерах** (информация) ... 33

## Материалы и конструкции для дорожного строительства

А.Л. ЗЕМЛЯК, Н.Е. КОКОДЕЕВА, М.В. СТЕПАНОВ, А.В. КОЧЕТКОВ

**Инновации в геоимплантатах: экопаркинги для мегаполисов** .....35

Предлагается новый термин «экопаркинг» как разновидность экологической парковки, под которым необходимо понимать пластиковую газонную решетку в виде жестких полимерных лент.

В.С. ПРОКОПЕЦ, И.М. КАРАМЫШЕВ

**Современные тенденции повышения качества и эффективности дорожных строительных материалов** .....38

Применение механоактивации некондиционных местных материалов и отходов промышленности позволило получить дорожно-строительные материалы, обладающие улучшенными свойствами: минеральные порошки из кремнеземсодержащих пород для асфальтобетонов; малоклинкерные вяжущие вещества на основе кислых зол-уноса ТЭС и речных песков, обладающих высокой гидравлической активностью; резиновые порошки, способные при сравнительно низкой температуре быстро растворяться в углеводородном сырье, что способствовало получению органических вяжущих веществ и бетонов на их основе с высокими эксплуатационными характеристиками.

Э.В. КОТЛЯРСКИЙ, А.М. ГРИДЧИН

**Расчетно-экспериментальная оценка битумоемкости минеральных материалов для приготовления асфальтобетонных смесей** . 40

Оптимальное содержание битума в асфальтобетонных смесях может быть определено по расчетной методике с использованием битумоемкости применяемых каменных материалов и битумов. Прогнозировать битумоемкость и дисперсность минеральных компонентов до размеров 1 мкм и менее предлагается с применением корреляционного и регрессионного статистического анализа.

В.А. ОСИНОВСКАЯ

**Динамика грунта земляного полотна при вибрационном нагружении дорожной конструкции** .....45

Показано, что при возбуждении свободных колебаний грунта земляного полотна его вибрационные показатели практически не влияют на уровень колебаний слоев дорожной одежды. Установлено, что виброускорения грунта снижаются пропорционально увеличению его толщины.

## Результаты научных исследований

Г.И. ЯКОВЛЕВ, Г.Н. ПЕРВУШИН, А. КОРЖЕНКО, А.Ф. БУРЬЯНОВ, И.А. ПУДОВ, А.А. ЛУШНИКОВА

**Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками** .....47

Приведены результаты исследования бетона, где в качестве модифицирующих добавок использовались углеродные нанотрубки GraphistrengthTM, диспергированные в гидродинамической установке в растворе поверхностно-активного вещества Полипласт СП-1. Отмечается прирост прочности мелкозернистого бетона на изгиб на 45,1%, на сжатие на 96,8%. Повышение прочности бетона связано с изменением морфологии кристаллогидратных новообразований, обеспечивающих формирование малодефектной структуры цементной матрицы.

В.Д. ЧЕРКАСОВ, В.И. БУЗУЛКОВ, Ю.В. ЮРКИН, Г.А. САВЧЕНКОВА, Т.А. АРТАМОНОВА

**Наполнитель с химически модифицированной поверхностью для неотверждаемых герметиков** .....52

Приведены результаты влияния изменения на наноразмерном уровне структуры и химической природы поверхности диатомита на физико-механические свойства герметизирующих материалов на основе неполярных каучуков. Установлено, что в результате химического модифицирования повышается число активных функциональных групп, которые в результате образования связей полимерной основы с поверхностью диатомита приводят к улучшению физико-механических и реологических свойств герметиков.

В.В. БАБКОВ, Д.В. КУЗНЕЦОВ, А.М. ГАЙСИН, О.А. РЕЗВОВ, Е.В. МОРОЗОВА, Л.С. АРСЛАНБАЕВА

**Проблемы надежности наружных стен зданий из автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения** .....55

Рассмотрены основные механизмы и факторы, оказывающие деструктивное влияние на состояние автоклавного газобетона в составе наружных стен эксплуатируемых зданий. Оценены возможности защиты наружных стен применением гидрофобизирующих паропроницаемых многослойных штукатурок. Приведен опыт эксплуатации таких штукатурок при защите фасадов многоэтажных жилых домов на основе автоклавных газобетонных блоков в Республике Башкортостан.

В.В. САМОЙЛЕНКО, В.В. ФИРСОВ

**Температурная устойчивость базальтовых волокон** .....58

Представлены данные по измерению усадки образцов базальтовой ваты из супертонкого волокна, полученных по различным технологиям, в зависимости от температуры и времени термического воздействия.

## Технология и оборудование

И.Г. ОВЧИННИКОВ

**Долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений** .....60

Проведён критический сравнительный анализ технических документов, регламентирующих долговечность железобетонных транспортных сооружений. Рассмотрены группы методов оценки остаточного ресурса сооружений.

Ю.В. КРАСОВИЦКИЙ, Н.Н. ЛОБАЧЕВА, Е.В. РОМАНЮК, Н.В. ПИГЛОВСКИЙ, Р.Ф. ГАЛИАХМЕТОВ

**Особенности эксплуатации пылеуловителей при производстве строительных материалов** .....63

Выявлены причины неудовлетворительной работы газоочистных сооружений, связанные с отклонениями физико-химических параметров пылегазовых потоков от их расчетных значений, низким качеством аппаратуры, недостаточной квалификацией персонала, отсутствием оперативной идентификации аварийных режимов. Сформулированы инженерно-технические мероприятия, обеспечивающие оптимальные условия эксплуатации пылеуловителей предварительной и тонкой очистки газов.

И.А. ГАЛЕЕВ

**Отличительные особенности интенсивных смесителей серии IMG** .....66

Показаны конструктивные особенности новых смесителей для выпуска силикатных стеновых материалов.

Приведены их основные технические характеристики.

**III научно-техническая конференция «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий» (Информация)** .....67

**Российские дни сухих строительных смесей (Информация)** .....68

**Новости** .....70

Г.И. СТОРОЖЕНКО, д-р техн. наук, директор,  
Г.В. БОЛДЫРЕВ, канд. техн. наук, технолог, ООО «Баскей» (Новосибирск)

## Опыт работы кирпичных заводов полусухого прессования с эффективной массоподготовкой глинистого сырья

Экономический кризис 2008 г. парализовал большую часть строительной отрасли нашей страны и оказал значительное влияние на предприятия, производящие строительные материалы. Например, к концу 2009 г. производство кирпича в Российской Федерации сократилось на 47% [1]. В сложившихся условиях, кирпичным заводам необходимо не только пересмотреть свою экономическую политику, оптимизировать затраты и подготовиться к новому старту, но и осуществить технологическую реконструкцию предприятия. Ведь кризис рано или поздно закончится, а за ним наступит новый виток развития.

Реконструкция существующих кирпичных производств, которая может быть осуществлена на условиях государственно-частного партнерства, открывает новые возможности для применения различных инноваций в технологии производства стеновых керамических материалов. Целью внедрения инновационных технологических решений является в первую очередь улучшение качества выпускаемой продукции и снижение себестоимости производства, над чем успешно работали российские ученые Б.П. Тарасевич, Г.Д. Ашмарин, В.А. Кондратенко, И.Ф. Шлегель и др. [2, 3, 4, 5]. Однако отсутствие заинтересованности собственников во внедрении предлагаемых инновационных решений при высокой стоимости кирпича во время экономической стабильности, строительство зарубежными фирмами крупных кирпичных заводов привели не только к разорению машиностроительных заводов «Строммаш», но и к росту технологической зависимости отрасли стеновых керамических материалов от зарубежных фирм.

Задачей настоящей статьи является анализ и обобщение опыта строительства и эксплуатации отечественных заводов полусухого прессования мощностью 10 млн шт. кирпича в год с эффективной массоподготовкой глинистого сырья.

Государственная программа СССР «Жилье-2000», принятая в начале 1986 г., ставила задачу построить за три пятилетки столько жилья, чтобы к 2001 г. каждая семья в стране имела отдельную квартиру или собственный дом. Параллельно со строительством жилья развивались мощности по выпуску средств механизации, материалов, конструкций и изделий для строительства. С 1986 по 1990 г. выпуск кирпича в стране увеличился с 59,1 до 68,7 млрд усл. шт.

В объединении «Красноярскстройматериалы» в это время было семь действующих кирпичных заводов пластического формования и один участок по производству кирпича полусухого прессования в г. Черногорске. Общий объем выпуска кирпича составлял 400 млн шт. в год. Для увеличения выпуска керамического кирпича Красноярским крайисполкомом было принято решение построить в районных центрах 13 заводов мощностью 10–15 млн шт. кирпича в год, начиная от г. Лесосибирска на севере и кончая пос. Ермаковское на юге. Таким образом решалась задача равномерного распределения

мощностей по выпуску стеновых материалов на огромной территории края. Финансирование строительства осуществлялось службой заказчика, куда входили районные агропромышленные объединения, а часть средств выделялась из краевого бюджета. Проектирование кирпичных заводов выполняли проектные институты Красноярска. Для реализации проекта строительства была создана инженерная группа при НТТМ «Спец», которую возглавил начальник техотдела «Красноярскстройматериалы» В.А. Кузубов. Группа не только координировала все стадии работ по строительству, но и разрабатывала технологическую политику.

Выбор способа производства керамического кирпича для заводов малой мощности осуществлялся не только исходя из выделенных средств на строительство, но и по результатам анализа работы кирпичных заводов Сибири. Основными проблемами заводов пластического формования были: ручной труд на обжиговых печах, которые в основном работали на твердом топливе; отсутствие механизации на садки и выкладки кирпича, перекладки его на обжиговые вагонетки. Недостатками существующей на то время технологии полусухого прессования являлись неудовлетворительное качество помола сырья, вплоть до 3–4 мм, низкий уровень автоматизации производства и ручной труд при обжиге.

При разработке технологии новых кирпичных заводов специалистами в первую очередь был проведен анализ сырьевой базы, которая была представлена в основном легкими и средними суглинками с высоким содержанием карбонатных включений, что требовало тщательной массоподготовки.

Для производства керамического кирпича высокого качества очень важно было обеспечить тонкий помол сырья. Реально применение в то время даже самых мощных валцов позволяло добиться помола до 1,5–2 мм. Для большинства видов исследованных глин такого помола было недостаточно. Единственно возможным способом, позволяющим добиться эффективной массоподготовки, был способ сухого помола, а его реализация была экономически оправдана при полусухом прессовании керамического кирпича. Данная технология позволяла убрать из технологического процесса производства дорогостоящие сушилки, снизить затраты труда на операциях загрузки-разгрузки, заменив их упрощенными сушилками, работающими с печными вагонетками.

Немаловажную роль при выборе способа производства сыграли и результаты работ Б.П. Тарасевича, доказавшего, что кирпич полусухого прессования и жесткого формования в кладке ведет себя лучше, чем кирпич пластического формования [2].

Таким образом, основными причинами, предопределившими выбор технологии полусухого прессования для малых заводов, стали:

- качество глинистого сырья Красноярского края и климатические условия работы кирпичных заводов;

**Таблица 1**

Тип агрегата	Расход тепла на сушку, кДж/кг влаги	Расход электроэнергии кВт/т сырья	Объемное напряжение по влаге, кг/(м <sup>3</sup> ·ч)
Измельчительно-сушильный агрегат НТТМ «Спец»	3500–4200	11,2	300–350
Молотковая мельница (ММТ 1300–2004/740)	4200–4800	26	150–200
Сушильный барабан	4200–5800	10	50

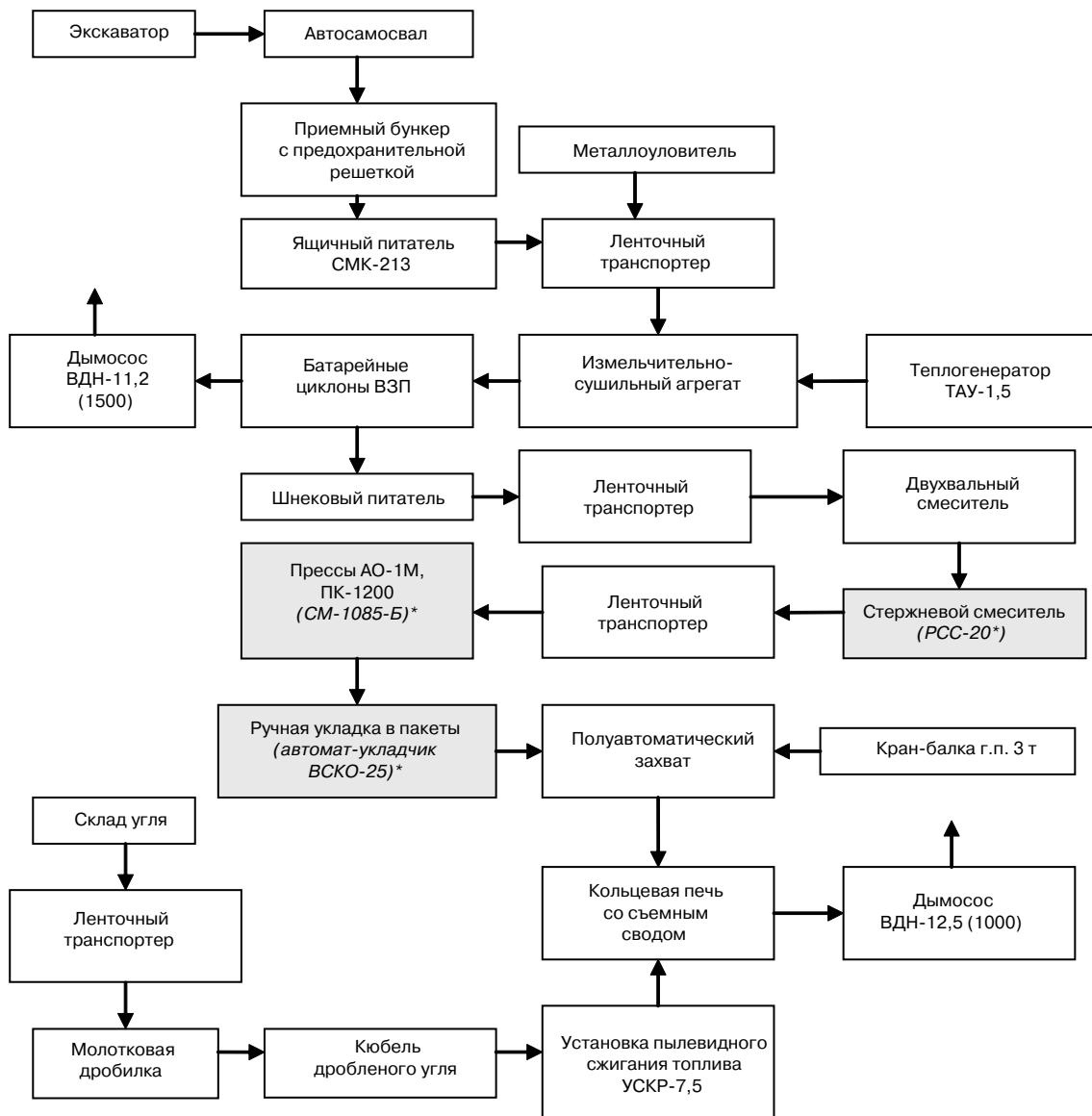
- меньшие затраты на строительство зданий и сооружений, меньший парк машин и механизмов;
- возможность использования сухого помола и механикоактивации сырья для повышения его технологических свойств и качества готовых изделий.

Для сухого помола сырья группой инженеров НТТМ «Спец» под руководством В.Н. Сорокина был сконструирован измельчительно-сушильный агрегат, в кото-

ром осуществлялось дробление сырья, сушка и тонкий помол, улавливание готового порошка и дозированная его подача в двухвальный смеситель [6]. По сравнению с существующими аналогами агрегат обладал рядом технических и технологических преимуществ (табл. 1).

При выборе обжиговой печи специалисты исходили из следующих положений: печь должна быть одновременно и сушилкой, причем режим сушки должен быть мягким; при ее обслуживании не должно быть ручного труда, даже при использовании твердого топ-лива. И самое главное, на заводе не должно быть проблем, связанных с ремонтом и восстановлением не только обжиговых вагонеток, но и самой печи. В результате анализа существующих проектов печей требуемой производительности была выбрана кольцевая печь со съёмным сводом, садка и высадка пакетов кирпича осуществлялась кран-балкой с помощью полуавтоматического захвата. Для обжига кирпича использовалась установка пылевидного сжигания топ-лива УСКР-7,5 (конструкция ВНИИстром им. П.П. Будникова), движущаяся на автоматической тележке по центру печи.

По технологии (см. рисунок) были построены и пущены в эксплуатацию восемь кирпичных заводов по-



Технологическая схема производства кирпича

**Примечание:** \* оборудование, которое было установлено на заводах после реконструкции.

Таблица 2

Показатели	Ед. измерения	Значение
Производительность	млн шт.	8–10
Установленная мощность	кВт	285
Режим работы	смен	2
Выработка на 1 рабочего	тыс. шт.	420
Трудоемкость 1000 шт. кирпича	чел.-час	3,1
Удельные капитальные вложения	р./1000 шт.	1650
Срок окупаемости	лет	3,6

лусухого прессования в Красноярском крае, два завода в Новосибирской области, заводы в г. Златоуст Челябинской обл. и г. Чуст Наманганской области Узбекистана. Время их пуска в эксплуатацию совпало с началом знаменитого дефолта 1998 г., поэтому из всех заводов сохранилось менее половины, несмотря на высокие технико-экономические показатели производства кирпича (табл. 2). Заводы в Новосибирской области работают и в настоящее время, в Златоусте завод остановился по причине нынешнего кризиса, а в Красноярском крае в п. Идринское завод 7 лет выпускал лицевой керамический кирпич марки 125.

Опыт работы сохранившихся после 1998 г. заводов позволяет сделать выводы не только о достоинствах технологического способа производства, но и о недостатках принятых решений, которых можно избежать при проектировании заводов нового поколения.

Практика показала, что для эффективной работы заводов в условиях Сибири необходимо иметь закрытый шихтозапасник с объемом, позволяющим работать в течение месяца. Процесс получения пресс-порошка при помоле сырья в измельчительно-сушильном агрегате существенно отличается от традиционного способа, поскольку высокая дисперсность исходного материала затрудняет его увлажнение и гомогенизацию. Оптимальным оказалось получение пресс-порошка в виде гранул в роторном стержневом смесителе РСС-20. Гранулированные массы обладают большей подвижностью и меньшими значениями упругой деформации по сравнению с дисперсными порошками, а самое главное, гранулированные пресс-порошки имеют постоянное значение насыпной плотности, что положительно сказывается на работе прессов.

Эффективная массоподготовка на заводах полусухого прессования позволяет при сравнительно невысоких удельных затратах на основе малопластичного высококремнеземистого сырья получать качественные керамические изделия, в том числе и лицевой кирпич. За время работы заводов общая технологическая идея обогащалась опытом ее эксплуатации.

В настоящее время фирма «Баскей» совместно с ОАО «ЮжНИИСтромпроект» разработала новое поколение заводов по производству лицевого керамического кирпича мощностью 15–20 млн шт. с максимальной степенью автоматизаций. Технология включает в себя дробление, сушку, помол и механоактивацию сырья, грануляцию активированного порошка, прессование сырья, сушку и обжиг изделий. Тонкий помол сырья, его сушка до влажности 3–4% и механоактивация осуществляются в измельчительно-сушильном агрегате новой модификации (патент РФ № 2099308). Применение измельчительно-сушильного агрегата для сушки, помола и механохимической активации позволяет исключить процессы грохочения глины, сократить число транспортирующих устройств и пересыпок.

Тонкодисперсный порошок из бункеров аспирационной системы агрегата пневмотранспортом закачивается в силосы, которые отечественная промышленность выпускает для сухих строительных смесей и цемента. Это позволяет автоматизировать процесс транспортирования и дозирования, а также создать буферный запас материала на несколько суток.

Приготовление пресс-порошка формовочной влажности и монофракционного состава с преобладающим размером гранул 2–3 мм производится в турболопастном смесителе–грануляторе ТЛГ-060-01К отечественного производства («ДзержинскТЕХНОМАШ»). Формование кирпича-сырца осуществляется на прессах полусухого прессования СМ-1085Б, СМК-519, СМК-491. Укладка кирпича-сырца в пакеты или на обжиговые вагонетки производится с помощью автоматов-садчиков ВСКО-23, ВСКО-25.

Таким образом, используя опыт работы российских инженеров-технологов и ученых в области производства качественных изделий стеновой керамики, а также новые разработки и продукцию отечественного машиностроения, можно создавать эффективные технологии керамического кирпича, заводы по производству которого должны составить конкуренцию быстро распространяющимся на территории РФ западноевропейским и китайским предприятиям.

**Ключевые слова:** сухой помол, полусухое прессование.

**Список литературы**

1. *Лыгина Т.З., Садыков Р.К., Сенаторов П.П.* Состояние производства стеновых керамических материалов в Российской Федерации // Строит. материалы. 2009. № 4 / Бизнес. С. 10–11.
2. *Тарасевич Б.П.* Новые технологии производства керамического кирпича // Строит. материалы. 1992. № 5. С. 18–19.
3. *Ашмарин Г.Д., Ласточкин В.Г., Курносов В.В.* Теоретические основы и пути совершенствования технологии компрессионного формования керамических стеновых материалов // Строит. материалы. 2009. № 4 / Technology. С. 26–29.
4. *Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я. и др.* Скоростной обжиг кирпича – миф или реальность? // Строит. материалы. 2004. № 4. С. 23–25.
5. *Кондратенко В.А., Пешков В.Н., Следнев Д.В.* Проблемы кирпичного производства и способы их решения // Строит. материалы. № 3. 2002. С. 43–45.
6. *Коротков Ю.А., Сорокин В.Н., Кузубов В.А. и др.* Устройство для измельчения и сушки. А. с. 1719077, ВО 2С 21/00, опубл. 15.03.92. Б.И. № 10. 22 с.

Общество с ограниченной ответственностью  
Научно-производственное предприятие

**Баскей**



**Основная специализация – разработка технологий сушки, помола, активации и обогащения различных видов минерального сырья.**

**www.baskey.ru E-mail: baskey\_ltd@mail.ru**

**Тел. (383) 328-32-47**

В.Д. КОТЛЯР, канд. техн. наук, Ю.В. ТЕРЕХИНА, инженер,  
Ростовский государственный строительный университет;  
Ю.И. НЕБЕЖКО, инженер-технолог, ООО «Тандем-ВП»  
(г. Новочеркасск Ростовской обл.)

## **Перспективы развития производства керамического кирпича полусухого прессования**

Керамический кирпич был и остается одним из основных видов стеновых материалов в гражданском строительстве как в России, так и в странах Европы. Несмотря на появление новых строительных материалов и технологий строительства, керамический кирпич прочно занимает свою нишу и выдерживает всю, часто необоснованную, критику в свой адрес. В настоящее время российская промышленность стеновой керамики переживает не лучшие времена, и главное, не ясны перспективы развития отрасли.

Одной из главных проблем отрасли, о которой говорят и многие исследователи и производственники, является отсутствие проектов кирпичных заводов на базе отечественного оборудования. До кризиса 2008 г. в нашей стране работало, по различным оценкам, около 500 кирпичных заводов. Многие из них требуют полной реконструкции. Но в России нет комплектных технологических линий для производства керамического кирпича, как по технологии пластического формования, так и полусухого прессования. И нельзя говорить об инновационном развитии отрасли и ее модернизации, ориентируясь только на импортное оборудование и технологии. Это долгосрочный тупик. Для того чтобы машиностроители начали производить необходимое оборудование, перед ними должны быть поставлены четкие задачи и обозначены ясные перспективы. И здесь целесообразно обратиться к европейскому опыту.

В ФРГ, Франции и Италии имеются научно-исследовательские центры керамической промышленности, которые были организованы в 60–70-е гг. прошлого века и доказали свою эффективность. В их функции входит обследование керамических заводов, оказание им технической помощи и отработка технологии применительно к конкретному сырью и заданной номенклатуре изделий. Наряду с этим научно-исследовательские центры осуществляют разработку новых перспективных технологий и новых видов высокоэффективных керамических изделий. На основе этого перед машиностроительными заводами и конструкторами ставятся конкретные задачи. Исследования сырьевых материалов производятся как фирмой-производителем оборудования, так и в научно-исследовательских центрах. Лабораторным исследованиям уделяется очень большое внимание. Сырье может быть забраковано независимо от желания заказчика строить кирпичный завод именно под данное месторождение.

Машиностроительные фирмы систематически улучшают конструкцию выпускаемого оборудования, для чего за каждым видом оборудования закреплен инженер-конструктор, в обязанности которого входит изучение работы оборудования и внесение необходи-

мых улучшений в конструкцию. Одним из решающих факторов технического прогресса в указанных странах является специализация фирм, работающих в этой отрасли, и выполнение каждой из них всего комплекса работ по разработке технологии, проектной документации, изготовлению, комплектации, поставке и наладке оборудования, шеф-монтажу и обучению персонала. Завод сдается заказчику только после освоения проектной мощности. Все это обязывает фирмы непрерывно совершенствовать действующее и создавать новое высокопроизводительное и надежное оборудование и агрегаты, комплексно решать вопросы механизации и автоматизации производства.

При проектировании заводов технологические схемы, способы переработки сырья, типы печей и сушилок подбираются индивидуально для каждого месторождения. Такая система организации работ дала в кирпичной промышленности большой экономический эффект, резко снизила потребность в рабочей силе и обеспечила конкурентоспособность стеновой керамики.

В СССР аналогичные задачи решал ВНИИСтром. Именно во многом благодаря работам специалистов этой организации, энтузиастов керамики, промышленность стеновой керамики развивалась вопреки общей строительной политике, направленной на повсеместное применение бетонов. К сожалению, за время социально-экономических преобразований система развития промышленности, в том числе строительных материалов, была разрушена. В настоящее время для керамической промышленности работают небольшие разрозненные исследовательские и инжиниринговые фирмы и творческие группы ученых.

Положительный опыт зарубежных фирм подсказывает целесообразность воссоздания в России отраслевых комплексных научно-исследовательских, проектных и конструкторских организаций с опытными машиностроительными базами, на которые будет возложено выполнение всего комплекса работ по проектированию и наладке строящихся и реконструируемых заводов. На наш взгляд, наиболее реальные и благоприятные перспективы сейчас существуют для организации производства комплектных технологических линий по выпуску кирпича по технологии полусухого прессования. При этом необходимо опираться на опыт исследований Г.Д. Ашмарина, В.А. Кондратенко, И.Ф. Шлегеля, М.Г. Габидуллина, А.Д. Шильциной и др., а также учитывать ряд важнейших факторов.

**Во-первых**, это наличие сырьевых материалов. Изначально способ полусухого прессования был предназначен для непластичного и малопластичного, камневидного неразмокающего и трудноразмокающего сырья. Затем сложилось ошибочное мнение, что этот

способ подходит для любого сырья. Это не так. Прессовать глинистое пластичное сырье — это идти против природы самой глины. Обследование многих заводов полусухого прессования показало, что в большинстве случаев образование трещин на кирпиче происходит почти сразу после прессования, если только не прессуются сухие порошки, но их практически невозможно спрессовать до необходимой степени уплотнения. Это результат упругого расширения сырца. И обусловлено это часто не только внешними факторами (давление, скорость приложения нагрузки, влажность пресс-порошка и т. д.), но и внутренними, то есть существенным составом глинистого сырья. Многочисленные наблюдения показали, что чем больше в сырье содержится тонкодисперсной слюды (серицита), тем выше упругие расширения. Такое сырье спрессовать до необходимой степени уплотнения просто невозможно. Для технологии полусухого прессования изначально надо подбирать малопластичные высокоотощенные массы, использовать аргиллиты, глинистые сланцы, опоковидные породы, сахарные глины, алевролиты и различные отходы промышленности.

**Во-вторых**, это необходимость разработки общепринятого алгоритма испытания сырья по схеме полусухого прессования. Основными технологическими факторами для получения качественных изделий являются: степень уплотнения в пересчете на твердое (сухое) вещество, гранулометрический состав измельченного сырья и температура обжига. Степень уплотнения определяется влажностью пресс-порошка и давлением прессования при условии получения бездефектных образцов с необходимой прочностью. Во многих случаях ошибочным является сложившееся мнение, что чем больше давление прессования, тем лучше. Но для получения оптимальных значений проводится обработка данных, составляются таблицы и графики прессования, отражающие зависимость плотности и прочности сырца от влажности пресс-порошка и давления прессования. При испытаниях определяются возможности сырья, которые должны быть в полной мере учтены в процессе производства.

**В-третьих**, ориентация на использование гидравлических прессов. При производстве изделий стеновой керамики они позволяют полностью управлять процессом прессования. Постепенно должны решаться следующие задачи перспективного развития собственно прессования:

- разработка способов и технологии прессования изделий сложной формы — фигурного лицевого кирпича;
- разработка технологии производства лицевого кирпича двухслойного прессования (с цветной лицевой поверхностью);
- освоение производства изделий большего объема, вплоть до крупноформатных камней;
- освоение производства изделий с повышенной пустотностью (до 30–40%) и оптимальной формой пустот, что способствует повышению морозостойкости изделий, снижению массы, благоприятно отражается на экономических факторах;
- получение равноплотного сырца и готовых изделий;
- разработка экономичных прессующих устройств и повышение срока службы изнашиваемых деталей — пресс-форм, штампов, пустообразователей;
- для увеличения производительности необходимо ориентироваться на применение многогнездовых пресс-форм.

**В-четвертых**, разработка и внедрение систем управления качеством с применением инструментов управления качеством на основе стандартов ИСО 9000 и ИСО 14000. Данные мероприятия позволяют контроли-

ровать стабильность технологического процесса, качественные характеристики продукции и обеспечивать ее конкурентоспособность, осуществлять взаимодействие с потребителями и определять перспективы, учитывать требования по экологической безопасности при организации производства, упростить процедуру выхода на мировой рынок.

Благоприятными предпосылками для организации производства отечественных комплектных линий полусухого прессования являются следующие факторы:

- пока еще сохранился научный и технический потенциал в этом направлении (ВНИИСтром, ИНТА-Строй;
- линии массоподготовки полностью могут быть укомплектованы из отечественного оборудования;
- во многих регионах страны, например на Юге России, большая часть кирпича выпускается именно по технологии полусухого прессования;
- может быть с успехом использован опыт огнеупорной промышленности, производства силикатного и гиперпрессованного кирпича.

Одним из узких мест при комплектовании технологических линий по полусухому прессованию является прессовое оборудование. В России не выпускается прессов для производства кирпича. Но, учитывая опыт Украины, это не представляется достаточно трудной задачей. Гидравлические прессы широко применяются во многих отраслях промышленности и, по сути дела, могут быть реконструированы для производства кирпича.

Имеется положительный опыт внедрения новых технологических решений на действующих кирпичных заводах. Например, была проведена реконструкция кирпичного завода в г. Новочеркасске [1]. В настоящее время завод использует в качестве сырья карбонатные опоки и выпускает как рядовой, так и лицевой кирпич светлых оттенков. На заводе работает гибкая технологическая линия с возможностью использовать разнообразное оборудование — щекковые и молотковые дробилки, вальцы, дезинтеграторы, смесители, вибросита, сушильные барабаны, прессы (механические и гидравлические). Кирпич может производиться как полнотельный, так и пустотелый, с пустотностью до 30–40%. Обжигаться кирпич может как в туннельной, так и в колцевой печи. Имеются определенные наработки по прессованию двухслойного лицевого кирпича. Данный завод мог бы стать базовым предприятием для проведения опытно-промышленных испытаний, отработки технологических параметров для различного вида сырья.

**Ключевые слова:** *керамический кирпич, прессование, сырьевые материалы, проектирование.*

#### Литература

1. *Талпа Б.В., Котляр В.Д., Терехина Ю.В.* Оценка кремнистых опоковидных пород для производства керамического кирпича // Строит. материалы. № 12. С. 20–22.

**ПОДПИСКА  
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ  
журнала «Строительные материалы»®**



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

Г.Д. АШМАРИН, канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО «ВНИИСТРОМ им. Петра Петровича Будникова»; В.В. КУРНОСОВ, канд. физ.-мат. наук, генеральный директор ЗАО «Комас»; С.Е. БЕЛЯЕВ, инженер, зам. директора ООО «Компания Промсервис»; В.Г. ЛАСТОЧКИН, инженер, ОАО «ВНИИСтром им. П.П. Будникова» (Московская обл.)

## **Обоснование эффективности компрессионного формования керамических строительных материалов**

В последние годы специалисты, а также многочисленные неспециалисты, ведут активную полемику по вопросам энергосбережения и тесно связанным с ними проблемами экологии, энергоэффективности, нормотворчества. Совершенно очевидно, что с учетом климатических условий строительство должно вестись с минимально возможными материальными затратами, с минимальным использованием технических средств и удовлетворять требованиям по долговечности и комфортности. При этом следует иметь в виду, что комфортность жилья и его теплозащитные свойства зависят от способности стен по-степенно и много аккумулировать тепло и затем также его отдавать в зависимости от температуры и влажности окружающей среды. Высокой тепловой инерцией обладают массивные стены из керамического кирпича.

Технология компрессионного формования, которая проще, менее насыщена сложным оборудованием и средствами автоматизации, чем технология пластического формования, позволяет выпускать изделия с намного меньшими затратами и достаточно высокого качества.

С позиции основ физико-химической механики дисперсных структур, разработанных П.А. Ребиндером [1], С.П. Ничипоренко [2] и другими учеными [3], изделия компрессионного формования из пресс-порошков имеют более совершенную структуру, чем изделия пластического формования. Этот способ, широко использующийся в производстве керамической плитки, в том числе керамогранита и тротуарного клинкера, может найти более широкое применение и в производстве керамических стеновых материалов, особенно в отдаленных от мегаполисов районах, где нет необходимости строить заводы большой мощности.

Бытует отчасти справедливое мнение, что на крупных заводах пластического формования себестоимость продукции ниже, чем на заводах малой мощности. Однако если учесть необходимость доставки на крупные заводы сырьевых компонентов из других регионов и даже из-за рубежа, дальность доставки продукции до стройки, бой продукции в процессе транспортировки, то удельные расходы на возведение стен существенно увеличиваются. Не зря в советское время упомянутые и многие другие факторы учитывались при размещении производительных сил, а керамические стеновые материалы справедливо относились к местным строительным материалам.

В последние годы создание новых производств строительных материалов было ориентировано на поставку высокопроизводительных, очень дорогих комплектных линий из Европы, так как своего оборудования в России не производится. Инвесторами таких проектов выступали крупные финансово-промышленные многопрофильные или вертикально-интегрированные структуры, которые могли аккумулировать собственные средства или привлечь кредитные ресурсы. Там, где имелись большие запасы минерального сырья и соответствующий потребительский рынок, это было оправдано. Но поставлять массовую продукцию на расстоянии 500–1000 км — это было и будет экономически нецелесообразно.

В сложившейся обстановке нами выполнены работы [4, 5] по совершенствованию технологии компрессионного формования с целью строительства заводов или цехов мощностью 10–30 млн шт. усл. кирпича. Строительство таких заводов актуально в отдаленных от крупных городов районах, особенно в сельской местности. При этом была решена задача по значительному сокращению продолжительности цикла производства за счет ликвидации сложного и громоздкого участка сушки изделий в отдельно стоящей сушилке. В соответствии с патентами №№ 2397068 и 2406049 [6, 7], сформованный кирпич из пресс-порошка заданной влажности и гранулометрического состава укладывается на печную вагонетку и проходит термическую обработку в специальной печи-сушилке. При мощности производства в 30 млн шт. усл. кирпича в год печь-сушилка имеет длину 130 м и предпечь — 30 м. Предварительные расчеты показывают, что объем капиталовложений из расчета на единицу продукции и себестоимость продукции при этом снизятся почти в 2 раза.

Нам часто задают вопрос, можно ли на такой технологической линии выпускать большегабаритные блоки типа «Поротерм». Нельзя. Есть возможность выпускать изделия с небольшой пустотностью, но с микропористой структурой и высокими теплозащитными свойствами за счет рационального использования сырьевых материалов, в том числе всевозможных отходов промышленности и сельскохозяйственного производства. Можно также значительно расширить ассортимент продукции, о котором пишет известный новатор керамических дел И.Ф. Шлегель в своих работах [8, 9], в том числе выпускать типоразмеры изделий, которые могли бы сочетаться при комбинированной кладке стен из ячеистого бетона и керамического кирпича.

Часто приходится слышать вопросы интересующихся заказчиков и порой некомпетентные ответы на них некоторых «специалистов». Предлагаем наши ответы на самые важные из наиболее часто задаваемых вопросов.

### **1. Есть ли особые требования к сырью?**

В технологии полусухого прессования можно использовать все разновидности глин, суглинков, опок, трепелов, диатомитов, сланцев, аргиллитов, отходов добычи и обогащения углей, отходы промышленного и некоторые отходы сельскохозяйственного производства. Главная задача — подготовить пресс-порошок требуемых влажности и гранулометрического состава.

### **2. Нужен ли шихтозапасник?**

Таких шихтозапасников, как при пластическом способе производства размером 20×80 м не требуется. Строятся бункеры запаса пресс-порошка на 2–3 суток работы.

### **3. Достигается ли экономия тепла в связи с отсутствием сушилок?**

Экономия энергоресурсов достигается за счет совмещения процесса сушки и помола сырья, так как сушить изделия всегда сложнее. Однако основной потенциал экономии энергоресурсов заключается в сокращении производственных площадей и массы оборудования (в



Режим термической обработки	Температура обжига 0С	Прочность, МПа		Водопоглощение, %	Усадка		Морозостойкость
		при сжатии	при изгибе		при сушке	при обжиге	
Продолжительность обжига 24 ч без сушки с выдержкой при максимальной температуре 4 ч	1050	40,3	2,52	12,2	Нет	3,2	По состоянию на 17 января 2011 г. кирпичи прошли 60 циклов попеременного замораживания и оттаивания без признаков разрушения и потери массы.
	1100	43,8	2,7	11,1		3,8	
	1110	42,3	2,74	10,8		4	
	1120	44,1	2,71	10,4		4,8	
	1130	46,3	2,8	8,6		5,4	
	1140	45,9	2,93	6,3		6,8	
	1150	49,1	2,85	5,3		7,2	

технологии отсутствуют шихтозапасники, сушилки, парк сушильных вагонеток, спецтранспорт с автоматами укладчиками и разгрузчиками сушильных вагонеток).

#### 4. Насколько увеличивается парк печных вагонеток?

Парк вагонеток увеличивается, как правило на 7–10 вагонеток, то есть на длину предпечья – буферного запаса, как и при пластическом способе производства.

Нами были проведены совместно с заказчиком испытания суглинка Тульской области. Из пресс-порошка с влажностью 7,5%, что на 2% ниже критической влажности (относительной влажности образца-сырца в момент прекращения усадки), прессовались кирпичи нормального формата пустотностью 12% на гидравлическом прессе выпуска Орехо-Зуевского завода СТРОММАШ с общим усилием 90 т, с удельным усилием прессования 15 МПа (150 кг/см<sup>2</sup>). Сразу после формования кирпичи были уложены на ложок высотой в 7 рядов и обжигались в электропечи при максимальной температуре 1050 °С. Одновременно партия кирпичей была обожжена на Шеланговском кирпичном заводе, причем кирпичи были помещены на вагонетку, идущую на обжиг после выхода из сушилки, другая партия кирпичей была помещена через смотровые окна на вагонетки в сушилке, которые прошли сушку в течении 5, 7 и 9 ч.

Общая продолжительность обжига составила 14,5 ч с выдержкой при максимальной температуре 960 °С 2 ч. В результате все кирпичи, как обожженные без предварительной сушки, так и при сушке в течении 5, 7 и 9 ч до остаточной влажности 1,5% имели одинаковый бездефектный внешний вид. Три партии кирпичей были обожжены в лабораторных условиях института при двухчасовой выдержке при максимальной температуре 1050, 1100, 1110, 1120, 1130, 1140 и 1150 °С.

Физико-механические свойства кирпичей приведены в таблице.

Таким образом, были подтверждены результаты лабораторных исследований о возможности производства данным способом изделий высокого качества из рядового повсеместно распространенного глинистого сырья без сушки в специальных сушилах.

#### 5. Возможен ли выпуск кирпича широкой цветовой гаммы?

Безусловно возможен. При подготовке пресс-порошков достигается более ровный цвет изделия, чем при смешении пластичного сырья и пигментов. Аналогично, как и при подготовке пресс-порошков для производства фасадного, мостового клинкера и керамогранита.

#### 6. Как бороться с высолами?

Так же, как и при пластическом способе производства, только несколько проще.

#### 7. Как бороться с крупными карбонатными включениями?

Мы не считаем наличие крупных карбонатных включений проблемой. При сушке сырья, например, в шахтно-молотковой мельнице или других отечественных или импортных агрегатах, отбирается фракция требуемой тонины для последующей грануляции.

#### 8. Есть ли сложности в эксплуатации прессов?

Есть, но не больше, чем на заводах силикатного кирпича, мощность которых не менее 100 млн шт. усл. кирпича в год. Главной проблемой является отсутствие отечественных гидравлических прессов с двухсторонним и двухступенчатым прессованием и с вакуумированием пресс-порошка. В случае производства клинкерных изделий и керамогранита их приходится приобретать в Европе.

Приведенные данные инженерного решения задач рецептурного и технологического характера говорят о больших возможностях комплексного использования природного сырья, отходов и побочных продуктов промышленного и сельскохозяйственного производства. При этом есть возможность снизить объем капиталовложений из расчета на единицу продукции минимум в 1,5 раза за счет сокращения, как производственных площадей, так и набора технологического оборудования. Соответственно и снизить себестоимость продукции в 1,5–2 раза.

В каждом конкретном случае при выборе места строительства нужны профессионализм и компетентность. Без этого невозможно избежать неоправданных материальных затрат.

*Ключевые слова:* керамические стеновые материалы, сырьевые материалы, компрессионное формование, печь-сушилка.

#### Список литературы

1. *Рибиндер П.А.* Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. 384 с.
2. *Ничипоренко С.П.* Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев: Наукова думка, 1968. 76 с.
3. *Ашмарин Г.Д., Ласточкин В.Г., Курносое В.В.* Теоретические основы и пути совершенствования технологии компрессионного формования керамических стеновых материалов // Строит. материалы. 2009. №4. С. 26–29.
4. *Lastotschkin W., Aschmarin G.* Untersuchungen zum Trockenpress-verfahren von Ziegeln // Keramische Zeitschrift. 2009. №6. S. 376–378.
5. *Ашмарин Г.Д., Курносое В.В., Ласточкин В.Г.* Энерго- и ресурсосберегающая технология керамических стеновых материалов // Строит. материалы. 2010. №4. С. 2–5.
6. *Ашмарин Г.Д., Курносое В.В., Ласточкин В.Г.* Технологическая линия для производства керамических строительных изделий методом компрессионного формования. Патент № 2397068. Бюл. № 23 от 20.08.2010 г.
7. *Ашмарин Г.Д., Курносое В.В., Беляев С.Е., Ласточкин В.Г.* Туннельная печь-сушилка. Патент № 2406049. Бюл. № 34 от 10.12.2010 г.
8. *Шлегель И.Ф.* Необходим пересмотр не только ГОСТ 530-95 // Строит. материалы. 2002. №10. С. 6–8.
9. *Шлегель И.Ф.* Сложившаяся ситуация в строительстве требует восстановления ГОСТа на лицевой кирпич // Строит. материалы. 2010. №7. С. 53–56.

А.Ю. СТОЛБОУШКИН, канд. техн. наук,  
Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк)

## **Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья**

Одним из стратегических направлений в развитии производства строительных материалов в XXI в. должен стать переход отрасли на использование в качестве источников сырья техногенных отходов. Это обусловлено истощением запасов природных ресурсов и интенсивным накоплением минеральных промышленных отходов. Необходимость такого перехода отражена в докладе академика Е.М. Чернышова на XV академических чтениях РААСН, которые были посвящены вопросам разработки оптимальных структур строительных композитов и расширения сырьевой базы отрасли [1].

Очевидно, что традиционные технологические способы производства керамических стеновых материалов из глинистых пород не эффективны при переходе на техногенное сырье, и получаемые изделия не обладают необходимыми эксплуатационными и эстетическими свойствами. Поэтому актуальной является разработка теоретических основ формирования рациональной структуры новых композиционных керамических материалов на основе техногенного сырья, результатом которой станут современные инновационные технологии.

Как правило, строительные композиты состоят из двух и более разнородных материалов различной химической природы, имеющих от-

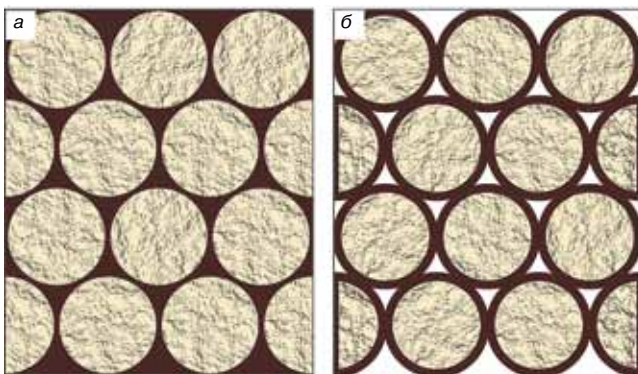
четливые границы, разделяющие их, и обладают свойствами, которых не имели исходные материалы [2]. В строении композита выделяют связующее (матрица) и наполнитель (дисперсная фаза), и по виду наполнителя материалы подразделяются на композиты с дисперсными частицами и волокнистые композиты. Дисперсные частицы, в свою очередь, в зависимости от размеров можно разделить на наполнители (от сотых долей микрометров до нескольких микрометров) и заполнители (от десятых долей миллиметра до нескольких сантиметров).

Учитывая особенности минеральных промышленных отходов, можно предположить, что изделия, получаемые на их основе должны иметь структуру композита с ярко выраженными границами между заполнителем (отходы) и связующим (природный или искусственный материал). Комплекс новых свойств композиционных материалов должен формироваться в результате физико-химических взаимодействий между исходными компонентами. С позиций полиструктурной теории заполнитель образует систему второго уровня или макросистему (макроструктуру). Объединяющая их связка является наполненной композицией (микросистемой) или системой первого уровня [3].

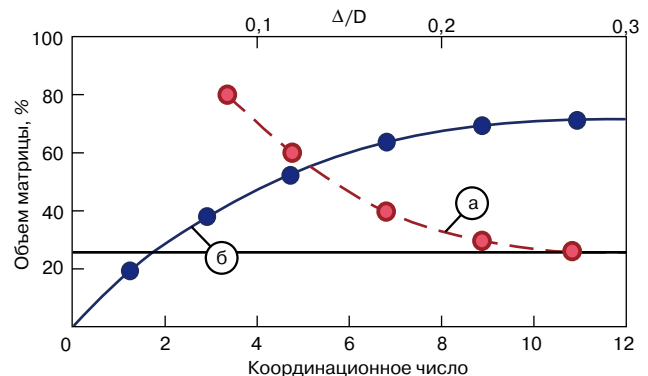
В последнее время отмечается повышенный интерес к разработ-

кам в области керамических композиционных материалов (ячеистая, сотовая керамика, пенокерамобетон и др.). Получены керамические матричные композиты, армированные волокном, частицами или сплошным стеклом [4]. При этом «арматура» выполняет в материале классическую функцию повышения трещиностойкости и прочности изделий.

При рассмотрении структуры керамических материалов можно выделить две ее составляющие – матрицу, которая является продуктом высокотемпературных превращений глинистых минералов, и макрозаполнитель в виде зерен, например кварца, заключенных в ней. Соотношение их объемов определяется распределением размеров и упаковкой частиц заполнителя. Основываясь на идеальной модели структуры керамического изделия, изображенной на рис. 1, можно вычислить, что объем матрицы составляет 25,95% от общего объема в случае закрытой упаковки частиц заполнителя с координационным числом 12. Эта зависимость изображена на рис. 2 пунктирной линией. Основываясь на представленной модели, можно предположить в качестве рабочей гипотезы, что в случае монофракционного состава заполнителя (отходов) для получения композиционного керамического материала требуется 25,95% связую-



**Рис. 1.** Модели микроструктур керамики с закрытой упаковкой частиц заполнителя. Заполнитель – желтый; матрица – коричневый цвет



**Рис. 2.** Влияние объема заполнителя на микроструктурные параметры керамических моделей, приведенных на рис. 1

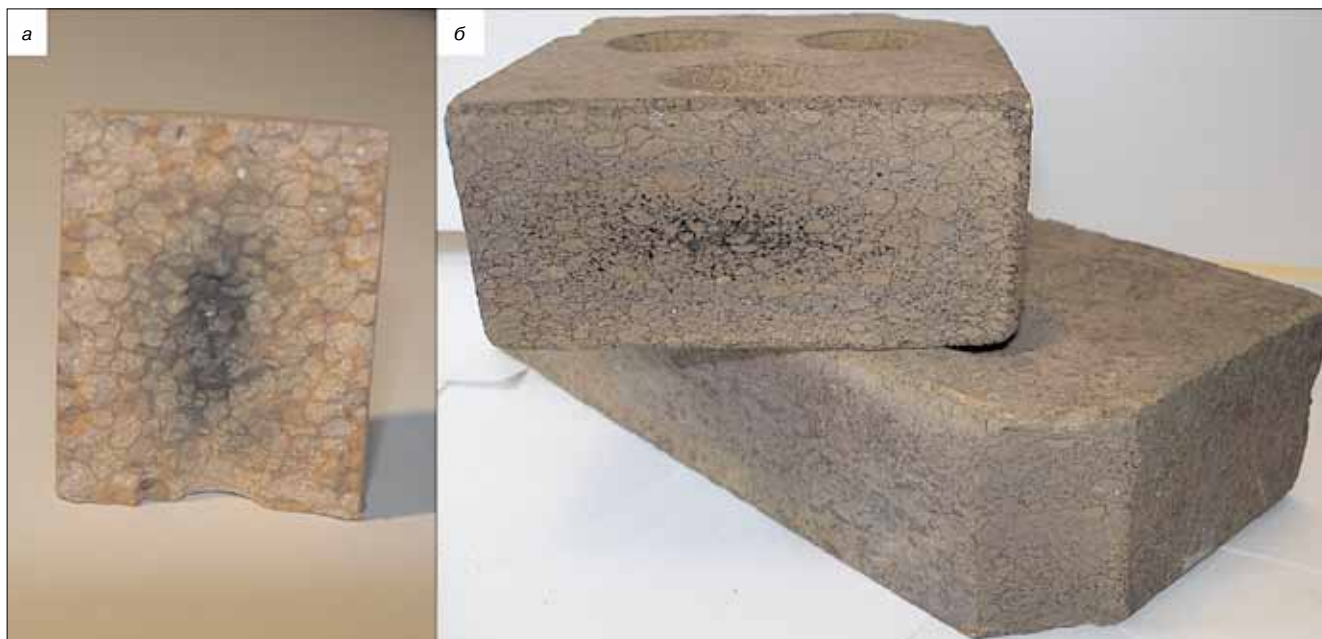


Рис. 3. Керамические матричные композиты на основе отходов углеобогащения (а) и шламистой части отходов обогащения железных руд (б)

шего. Для менее плотной упаковки зерен заполнителя координационное число снижается и количество связующего, необходимого для заполнения межзернового пространства, растет. Такой вариант структуры является неприемлемым с точки зрения экономической эффективности, что объясняет малый практический интерес к использованию отходов в производстве стеновых керамических материалов как к основному сырью, из которого можно получить качественные изделия.

Для производства керамических изделий из минерального техногенного сырья предлагается на первом этапе формировать из тонкодисперсных отходов заполнитель монофракционного состава в виде гра-

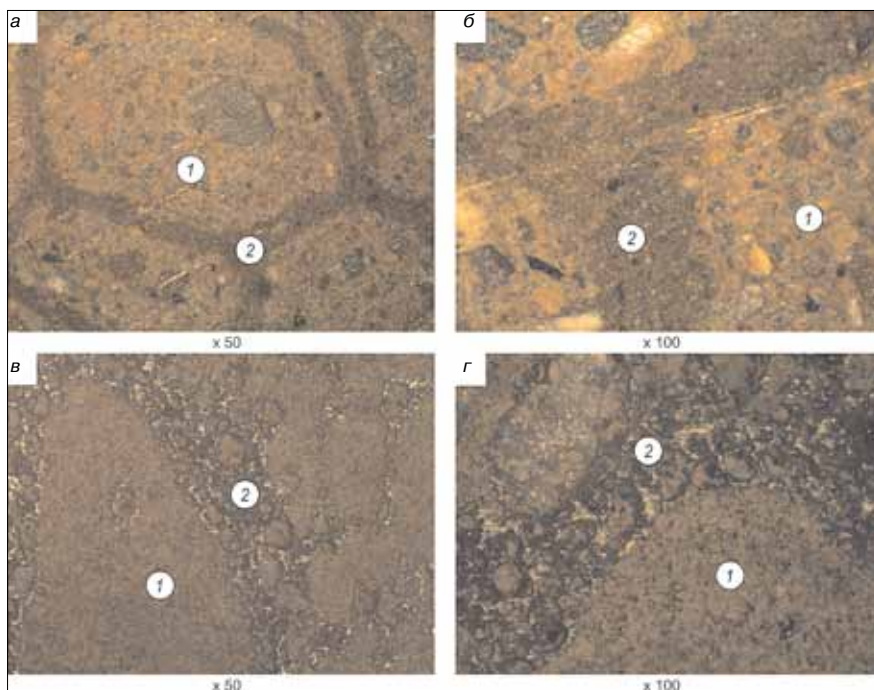
нул, однородных по составу и плотности, а затем наносить на поверхность гранул природное сырье (связующее) в виде оболочки. Такая массоподготовка обеспечит прочное сцепление частиц заполнителя при полусухом прессовании (рис. 1, б), а необходимое количество связующего станет заведомо меньше 25%, как только отношение между толщиной оболочки  $\Delta$  и диаметром гранулы  $D$  будет приближаться к 0,05, что следует из элементарных расчетов, результаты которых приведены на рис. 2. Естественно, качественный состав связующего также будет влиять на его содержание в композиционном материале.

Разработка методов получения керамических стеновых материалов

со структурой, изображенной на рис. 1, б, осуществлялась для наиболее массовых промышленных отходов Сибири: хвостов мокрой магнитной сепарации после обогащения железных руд (ОЖР) и отходов угле-обогащения (ОУО).

Проведенные комплексные исследования техногенных отходов показали, что шламистая часть ОЖР, средний размер частиц которой составляет 15–18 мкм, по химическому составу близка к низкосортному глинистому сырью [5]. По числу пластичности шламы находятся на границе групп малопластичного и непластичного керамического сырья. Они малочувствительны к сушке и имеют относительно небольшую воздушную линейную усадку 5,5–6,2%.

Состав шихты	Способ приготовления пресс-порошка	Физико-механические показатели			
		Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Прочность при сжатии, МПа	Морозостойкость, цикл
ОЖР – 100	Традиционный	1750	19,2	9,9	7
ОУО – 100		1634	17	13,3	14
ОЖР – 75, суглинок – 25		1772	17,8	14,9	20
ОУО – 75, суглинок – 25		1675	16,8	18,5	25
ОЖР – 75, суглинок – 25	Грануляция с опудриванием гранул глинистым порошком	1767	16,3	21,7	35
ОУО – 75, суглинок – 25		1753	16	24,1	30
ОЖР – 70, суглинок – 20, плавень – 10		1860	12,6	28,2	50
ОУО – 70, суглинок – 25, плавень – 5		1807	14,4	29,1	35

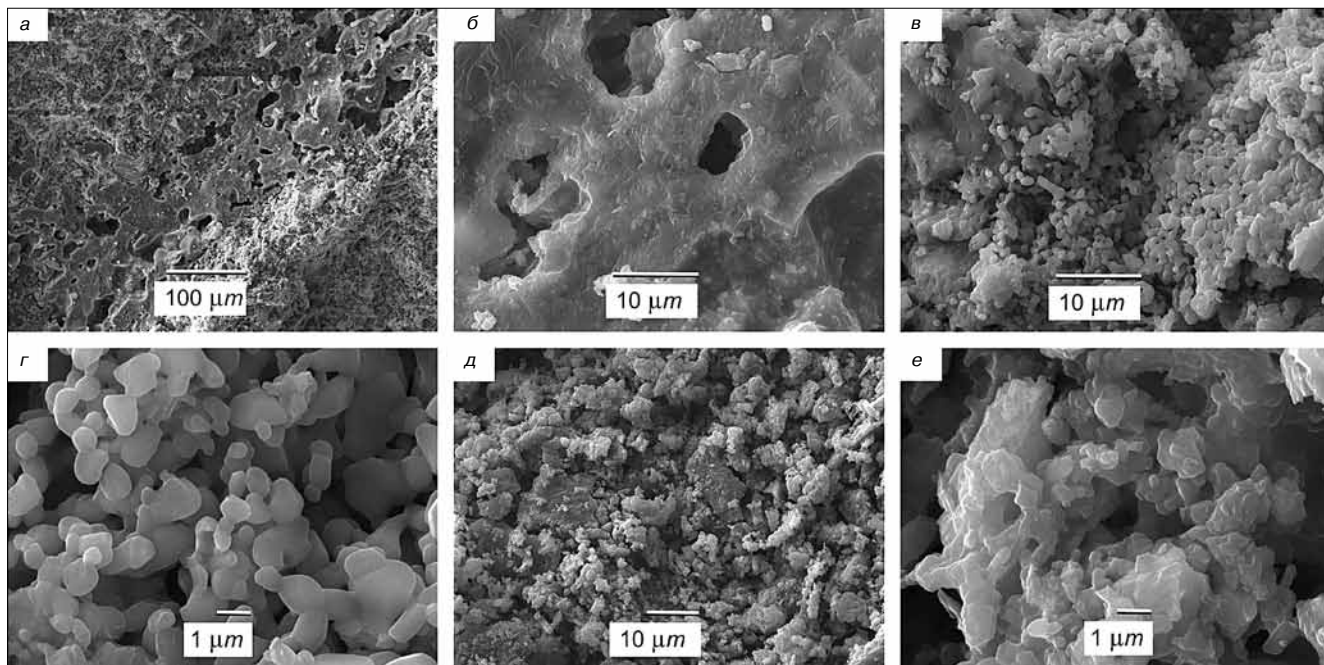


**Рис. 4.** Петрографические снимки структуры керамических матричных композитов на основе отходов углеобогащения (а, б) и шламистой части отходов обогащения железных руд (в, г), отраженный свет, николи II: 1 – наполнитель (гранулированные отходы); 2 – матрица из суглинка

По огнеупорности относятся к легкоплавкому, по температуре и степени спекания – к высокотемпературному и неспекающемуся керамическому сырью с огневой усадкой в пределах 1–1,2%. Основными породообразующими минералами в составе шламистой части ОЖР являются карбонаты, хлорит, полевые шпаты, кварц, гематит и примеси.

Отходы углеобогащения по химическому составу являются полу-

кким содержанием красящих оксидов ( $Fe_2O_3 + TiO_2 - 8-9\%$ ) и свободного кварца. Исследования отходов показали, что они состоят в основном из песчаных и пылеватых фракций, количество алевритовых частиц составляет менее 30%. ОЖР умеренно пластичны, имеют низкую чувствительность к сушке. По огнеупорности относятся к легкоплавкому, по температуре и степени спекания – к низкотемпературному, неспекающемуся сырью.



**Рис. 5.** Структура керамического матричного композита (растровый электронный микроскоп): граница раздела фаз (а); кристаллизационная структура матрицы (б); микроструктуры переходного слоя (в, г) и гранулы (д, е)

После обогащения остаточное количество углерода в различных фракциях отходов колеблется от 4 до 12%. Рентгенографически во всех пробах диагностируются кварц, полевые шпаты и карбонаты, имеются смешанослойные глинистые минералы иллит-каолинит-монтмориллонитового состава.

Все попытки получить на основе исследованных промышленных отходов по традиционной технологии полусухого прессования керамические изделия, соответствующие по качеству требованиям нового ГОСТ 530–2007, как в лабораторных, так и в промышленных условиях успехом не увенчались. Кирпичный завод в г. Новокузнецке, выпускающий кирпич из ОЖР, был остановлен из-за низкого качества изделий.

На стадии лабораторных исследований был проведен сравнительный анализ предлагаемого автором способа формирования структуры матричного композита с традиционной технологией полусухого прессования.

Согласно принятой теоретической модели (рис. 1, б) для получения керамических матричных композитов поверхность гранул из отходов покрывалась тонким слоем сухого молотого суглинка. Результаты испытаний полученных образцов керамических матричных композитов в сравнении с образцами из механически смешанных компонентов шихт даны в таблице. Сами образцы показаны на рис. 3.

На Ермаковском ЗКСМ из шихты состава 75% ОЖР и 25 % суглинка

была получена промышленная партия керамического кирпича со структурой матричного композита (рис. 3, б). На рис. 4 показаны фрагменты отдельных участков керамического черепка, где можно отметить ярко выраженные отличия фазового состава самих гранул 1 и поверхности их контакта 2. Отчетливо проявляется упорядоченный каркас из глинистой составляющей шихты, играющей роль дисперсионной среды после формирования изделий. При обжиге дисперсионная среда продуцирует жидкую фазу, которая внедряется в периферийную зону дисперсной фазы (граничный слой, рис. 5, в) и после кристаллизации образует прочную ячеистозаполненную структуру.

Петрографический анализ позволил установить, что дисперсная фаза, сформированная из отходов, представлена в основном сложным пироксенном типа авгита, гематитом и волластонитом. Зерна кристаллов соединены между собой аморфизованным веществом, образовавшимся за счет легкоплавких примесей. Пространственная ячеистая основа керамического матричного композита, в свою очередь, имеет внутренний армирующий каркас из реликтового кварца, муллита, анортита и кристобаллита, сросшихся между собой и соединенных стеклофазой.

Условно процесс формирования микроструктуры матрицы в чистом виде, вне контактных зон с поверхностью наполнителя и заполнителя керамического композита можно рассматривать как последовательный переход под влиянием внешних воздействий одних видов структур в другие: коагуляционная → конденсационная → кристаллизационная. Коагуляционная структура образуется за счет сил межмолекулярного взаимодействия между частицами глины через прослойки жидкой среды, выдавливаемой из гранул заполнителя (влажность 9–11%) в поверхностный опудривающий слой при прессовании. В процессе сушки после удаления жидкой фазы формируется конденсационная структура при непосредственном взаимодействии частиц под влиянием валентных или ионных связей. В результате обжига образуется кристаллизационная структура матрицы путем выкристаллизовывания твердой минеральной фазы из расплава с последующим срастанием кристаллов в единую прочную систему (рис. 5, б).

Изучение механизма взаимодействия между матрицей и наполнителем композита показало, что согласно положениям механики композиционных материалов внутренние

поверхности раздела относятся к типу, характеризующемуся переходным слоем, образованным из однородных частиц оплавленной формы (рис. 5, в, г). Очевидно, что это — продукты взаиморастворения компонентов матрицы и гранул заполнителя, полученные в пиропластичном состоянии, которые на макро- и микроуровнях обеспечивают структурное единство и повышение прочностных показателей материала.

При изучении микроструктуры дисперсной фазы заполнителя после обжига образцов установлено, что равномерное распределение структурных элементов по сечению гранул практически недостижимо и наблюдается только в отдельных локальных зонах (рис. 5, д, е). Для обеспечения наилучшего сочетания свойств матричного композита, и прежде всего прочности и водопоглощения керамического черепка, необходимо оптимальное внутреннее насыщение гранул пиропластичной связкой (связующим), объединяющей агрегаты, кластеры и отдельные частицы в единую систему. В связи с этим, при формировании гранул из неспекающегося техногенного сырья целесообразно вводить добавку плавя для получения прочных керамических стеновых изделий.

Таким образом, разработанные теоретические основы производства керамических матричных композитов на основе техногенного сырья позволяют существенно расширить сырьевую базу отрасли и решать поставленные Правительством РФ задачи переработки промышленных отходов. Например, вместо глинистого порошка в составе керамических шихт на основе шламистой части ОЖР можно использовать тонкозолотые отходы стекольного производства (патент № 2232735 RU, С 04 В 33/00, 2004). Для изготовления керамических матричных композитов из отходов углеобогащения положительный эффект оказы-

вает добавка отходов метизного производства (патент № 2327668 RU, С 04 В 33/132, 2008). Данная технология может быть успешно применена для производства керамических материалов из малопластичного, неспекающегося глинистого сырья.

**Ключевые слова:** керамические матричные композиты, структура композиционных материалов, грануляция, промышленные отходы, техногенное сырье.

#### Список литературы

1. Чернышов Е.М. К проблеме развития исследований и разработок в области материаловедения и высоких строительных технологий: основные акценты // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН Международной научно-технической конференции /КазГАСУ. Т. 1. Казань, 2010. С. 8–9.
2. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов / Пер. с яп. М.: Мир, 1982. 232 с.
3. Хрулев В.М., Тентиев Ж.Т., Курдюмова В.М. Состав и структура композиционных материалов. Бишкек: Полиглот, 1997. 124 с.
4. Mecholsky J.J. Evaluation of mechanical property testing methods for ceramic matrix composites // American society bulletin. 1986. № 2. P. 315–322.
5. Столбоушкин А.Ю., Сайбулатов С.Ж., Стороженко Г.И. Технологическая оценка шламистой части отходов обогащения железных руд АОАФ как сырья для промышленности керамических строительных материалов // Комплексное использование минерального сырья. 1992. № 10. С. 67–72.

**ПОДПИСКА  
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ  
журнала «Строительные материалы»®**



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

THE SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE  
«DEVELOPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY OF RUSSIA»

# КЕРАМТЕХ

**1-3 июня 2011 г.**  
**РОССИЯ, ЯРОСЛАВЛЬ**  
**ГКВК «СТАРЫЙ ГОРОД»**

**NEW**

**I специализированная тематическая выставка  
«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КЕРАМИКЕ»**



**ПОСЕЩЕНИЕ ПЕРЕДОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ –  
ЗАО «НОРСКИЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»**

**Спонсоры конференции:**



Кирпичное объединение «Победа ЛСР»



Норский керамический завод

**Руководитель проекта – Юмашева Елена Ивановна**  
**Менеджер проекта – Лескова Елена Львовна**

**Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 9, стр. 3**  
**Тел./факс: +7 (499) 976-22-08, 976-20-36, моб. +7 (910) 437-03-98**

# Оборудование для погрузочно-разгрузочных операций novocerіc для кирпичного завода Schumacher, Körbligen, г. Гизикон, Швейцария

История кирпичного завода Körbligen, являющегося семейным предприятием, насчитывает более 150 лет. Сегодня шестое поколение семьи Шумахер производит широкий ассортимент высококачественной строительной керамики на самом современном оборудовании.

Свой вклад в производство вносят системы транспортировки от фирмы **novocerіc**, с помощью которых осуществляется загрузка вагонеток сушилки, предназначенных для транспортировки кирпича через новую скоростную сушилку. После прохождения вагонеток через сушилку их разгрузка происходит при помощи той же техники, и высушенные заготовки передаются к новым роботам-садчикам.

После обжига кирпич вместе с отгрузочным поддоном упаковывается в термоусадочную пленку на автомате-упаковщике фирмы KELLER HCW и подготавливаются для дальнейшей отгрузки заказчиком.

## Технические данные

Длина реек .....1350 мм  
 Кол-во ярусов.....16/8  
 Расстояние между ярусами ..... 250/500 мм  
 Срединное расстояние между вертикальными рядами .....320 мм  
 Кол-во вертикальных рядов.....2×4  
 Система управления ..... Siemens S7-400,  
 Способ передачи данных .....Bus-система MPI и Profibus,  
 Дистанционное обслуживание.....через VPN-подключение.

## Форматы

Длина реза.....60–400 мм

Транспортировка заготовок осуществляется при помощи техники с использованием зубчатого ремня.

Управление ..... Siemens S7-400.  
 Средства коммуникации ..... Bussystem MPI и Profibus.  
 Дистанционное обслуживание.....через VPN-подключение.



Система загрузки и разгрузки сушильных вагонеток



Робот-садчик ВТП



Отгрузочный пакет, упакованный в термоусадочную пленку

Keller HCW GmbH  
 Carl-Keller-Str. 2-10  
 49479 Ibbenbüren  
 Tel: 05451 850  
 Fax: 05451 85310  
 www.keller-hcw.de  
 info@keller-hcw.de

**novocerіc** Transportanlagen GmbH  
 Hendunger Str. 16  
 97638 Mellrichstadt  
 Tel 09776 6030  
 Fax 09776 60399  
 www.novocerіc.de  
 transportanlagen@novocerіc.de

**KELLER HCW**

удк 666.3.034

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, канд. техн. наук, генеральный директор,  
Г.Я. ШАЕВИЧ, директор, С.Г. МАКАРОВ, начальник отдела,  
Н.И. ШКУРКИН, ведущий конструктор, Институт Новых Технологий и Автоматизации  
промышленности строительных материалов (ООО «ИНТА-Строй», Омск)

## Новый автомат для резки пластичного бруса

В кирпичной отрасли России и стран СНГ до сих пор эксплуатируется большое количество однострунных лучковых резательных автоматов, имеющих существенные недостатки. На предприятиях, прошедших реконструкцию, применяются в основном многострунные резательные аппараты, однако предварительный отрез бруса осуществляется также однострунным резчиком. Таким образом, разработка однострунного автомата, способного отрезать заготовки любой длины, актуальна для любых кирпичных предприятий.

Интерес к этой теме не угасает вот уже более полувека, о чем свидетельствует большое количество публикаций и обзоров по резательным устройствам. Более живой интерес к этой машине проявляют изобретатели, теоретические разработки которых по подклассу В 28В 11/14 уже не помещаются в три большие папки в патентной библиотеке.

Специалисты ООО «ИНТА-Строй» внесли свою лепту в этот процесс [1–9], однако оптимальной конструкции резательного устройства до сих пор не было создано. Поэтому в производстве применяются лучковые резательные автоматы СМК-163, созданные на базе автомата СМ-678, который в свою очередь унаследовал конструкцию СМ-295, срисованную с немецкой машины.

В таком виде лучковые автоматы, по сути, служат в кирпичной промышленности более 70 лет, несмотря на то что являются узким местом технологии.

Какие же недостатки однострунного резательного автомата заставили снова вернуться к этой теме?

Во-первых, это частые позрывы резательной струны, работающей в жестком динамичном режиме. При резке полнотелого бруса такие позрывы происходят 5–20 раз за смену; при резке пустотелого бруса – реже. Однако позрывы вызывают отключение всей технологической линии для замены струны, а следовательно, значительные потери производительности.

Во-вторых, частые поломки машины из-за сложной кинематической схемы и большого количества настроек и регулировок. Поэтому заводы вынуждены для обслуживания резательного автомата держать специально обученного механика, чья квалификация выше остальных, а знания особенностей конкретной машины передаются «по наследству». Порой даже главный механик не может настроить капризную технику. Это также вызывает простои всей линии, если, например, механик «заболел».

В-третьих, большая трудоемкость перестройки автомата СМК-163 на требуемый размер отрезаемых изде-

Размер сечения бруса от пресса (max), мм	132±3 × 275±4
Размеры получаемых заготовок кирпича (длина × ширина × толщина), мм	275×132×40–1800
Производительность, не менее, шт./ч	9000
Диаметр струны, мм	1,6
Привод автомата:	мотор-редуктор SEW-EURODRIVE с синхронным двигателем
мощность, кВт	2,2
Габаритные размеры автомата, мм	860×960×1800
Масса, кг	170



Рис. 1. Внешний вид автомата РАШЛ-3

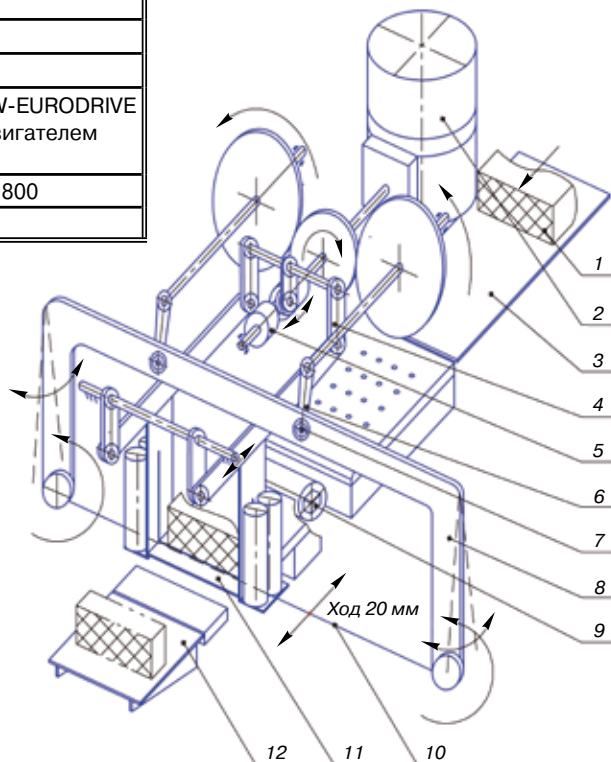


Рис. 2. Кинематическая схема автомата РАШЛ-3: 1 – пластичный брус; 2 – сервопривод; 3 – склиз входной; 4 – тяга шарнирная; 5 – кулачок приводной; 6 – кривошип; 7 – опора шаровая; 8 – лучок; 9 – датчик скорости перемещения; 10 – струна; 11 – столик подвижный; 12 – склиз выходной



лий, что часто необходимо при изменении параметров сырья. При этом меняется сушильная и обжиговая усадка, а размер сырца зачастую оставляют прежним, что в конечном итоге дает отклонение толщины кирпича выше предельных допусков.

В-четвертых, низкое качество реза, которое обусловлено быстрым износом втулок смычкового вала и применением режущих струн слишком большого диаметра (более 1,8 мм).

Перечисленные недостатки удалось ликвидировать в новой конструкции резательного автомата системы И.Ф. Шлегеля – РАШЛ-3. На рис. 1 представлен внешний вид автомата. На рис. 2 – кинематическая схема автомата.

Нагрузки на режущую струну удалось значительно снизить благодаря использованию резки с одновременной протяжкой струны [4, 9, 10]. Динамичность работы улучшена за счет резки как сверху вниз, так и снизу вверх.

Несмотря на появление в связи с этим новых задач, общую кинематическую схему удалось значительно упростить, а количество деталей привода уменьшить в 5 раз.

В приемном ролике РАШЛ-3 установлен датчик скорости перемещения (рис. 2, 9), а в шкафу управления имеется управляемый дисплей, на котором можно задавать любую требуемую величину отрезаемого сырца с точностью до 0,1 мм.

Автомат может отрезать и мерный брус, так как возможная длина заготовок от 40 до 1800 мм.

Это кардинальное расширение возможностей разработанного автомата было достигнуто благодаря применению современного сервопривода.

Технические характеристики РАШЛ-3 приведены в таблице.

РАШЛ-3 патентуется в России [10] и за рубежом. В настоящее время разрабатывается автомат РАШЛ-4 для

увеличенных сечений бруса, в перспективе разработка РАШЛ-1 и РАШЛ-2 для уменьшенных сечений бруса.

Резательный автомат РАШЛ-3 будет продемонстрирован участникам семинара «Инновационные технологии для кирпичных заводов средней и малой мощности», который будет проведен в Омске в рамках проекта КЕРАМТЭКС 16–17 марта 2011 г.

Ждем вас на нашей гостеприимной земле!

**Ключевые слова:** сырец, резка, резательный автомат РАШЛ-3, режущая струна.

**Список литературы**

1. Шлегель И.Ф., Рабиль М.А. Устройство для резки глиняного бруса. А. с. № 737216. 24.08.72.
2. Шлегель И.Ф. и др. Устройство для резки глиняного бруса. А. с. № 950535. 31.12.80.
3. Шлегель И.Ф. и др. Устройство для крепления струны в резательном автомате. А. с. № 998123. 31.12.80.
4. Шлегель И.Ф. Устройство для резки пластичного бруса. А. с. № 1000281. 17.04.81.
5. Шлегель И.Ф. Способ разделения пластичного бруса на отдельные изделия. А. с. № 1034910. 04.02.82.
6. Шлегель И.Ф. Устройство для резки глиняного бруса. А. с. № 1049254. 04.02.82.
7. Шлегель И.Ф. Устройство для управления резкой движущегося материала. А. с. № 1030175. 04.03.82.
8. Шлегель И.Ф. Устройство для резки пластичного бруса. А. с. № 1046100. 08.06.82.
9. Шлегель И.Ф. Автомат для изготовления штучных керамических изделий при пластическом формовании. А. с. № 1791135. 01.03.93.
10. Шлегель И.Ф. Устройство для резки пластичного бруса. Решение о выдаче патента на изобретение от 01.09.2010 по заявке № 2009142865/03(061047).

**Омск**  
17 - 20 мая 2011



**СИБИРСКАЯ  
СТРОИТЕЛЬНАЯ НЕДЕЛЯ**

**СТРОЙПРОГРЕСС**  
16-я Специализированная выставка с международным участием  
Строительство и архитектура, оборудование, техника, инструменты, материалы

**ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЖКХ**  
специализированная выставка

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**  
специализированный салон

**ДЕРЕВО И МЕТАЛЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**ДОРСТРОЙТЕХ. ДОРОГИ. МОСТЫ**

**ЛИФТЫ**



ИнтерСиб

Организатор: МВЦ "ИнтерСиб"  
тел./факс (3812) 25-84-87, 25-25-56  
E-mail: stroy@intersib.ru,  
http://www.intersib.ru

Место проведения:  
СК "Красная звезда"  
ул. Масленникова, 142 а

А.Е. АБАКУМОВ, канд. техн. наук, В.М. ПОГРЕБЕНКОВ, д-р техн. наук,  
К.В. МАРКОВ, инженер, В.В. ГОРБАТЕНКО, канд. техн. наук,  
Томский политехнический университет

## **Пути улучшения структуры бруса при пластическом формовании керамического кирпича**

При производстве стеновых керамических материалов преобладает пластический способ формования. Сложившееся положение объясняется рядом объективных факторов:

- методом пластического формования можно производить весь номенклатурный ряд изделий, перечисленных в ГОСТ 530–2007;
- карьерная влажность глин, особенно в Сибирском регионе, в основном равна или больше оптимальной формовочной влажности;
- при пластическом методе формования осуществляется наиболее экономичное удаление влаги в сушильках за счет утилизации тепла, отбираемого из зоны охлаждения печи;
- методом пластического формования возможно получение поризованной продукции путем введения до 40% выгорающих добавок, что в комбинации с высокой пустотностью обеспечивает хорошие теплоизоляционные свойства изделий.

В настоящее время на рынке строительных материалов обостряется конкуренция, поэтому задачи по повышению качества продукции становятся приоритетными для каждого предприятия, которое мобилизует все резервы для преодоления последствий экономического кризиса. Основными критериями качества являются внешний вид (геометрия, видимые дефекты изделий), а также прочностные показатели – марка по прочности и морозостойкости.

По мнению многих специалистов, показатели качества строительных керамических изделий, полученных методом экструзии, на 50–70% зависят от параметров формования изделий. Большинство дефектов закладывается именно на стадии формования, а затем лишь раскрывается при сушке и обжиге.

Практикой установлено, что при формовании оптимальной структуры сырца снижается его чувствительность к отклонениям тепловлажностного режима сушки и, как следствие, снижается доля брака и повышается стабильность показателей качества в партии изделий. Модернизация формовочной оснастки является менее затратным мероприятием по сравнению с работами по модернизации сушильного комплекса предприятия, но обладает сопоставимым технологическим эффектом. В период, когда предприятие обладает ограниченными ресурсами, они должны быть направлены в первую очередь на обеспечение оптимальных параметров формования продукции, так как это позволит обеспечить максимально возможную отдачу как по производительности, так и по качеству изделий при одинаковых вложениях.

Формовочная оснастка состоит из головки пресса, переходной плиты, мундштука и системы пустотообразователей в случае производства пустотелого кирпича. Мы считаем необходимым расширить этот список и обязательно включить в него **калибровочную рамку и систему**

**тормозов.** В отдельных случаях целесообразно использовать систему внутренних «кернов-тормозов» для оснастки при производстве полнотелого кирпича.

Целью использования набора формовочной оснастки является уплотнение формовочной массы, выравнивание скоростей истечения различных слоев массы на выходе бруса из выходного отверстия, формование требуемого профиля бруса, создание системы пустот внутри бруса в случае пустотелой продукции.

Возможны три основных типа эпюр скоростей истечения различных слоев бруса:

- а) скорость истечения срединных слоев опережает скорость периферийных слоев;
- б) скорость истечения периферийных слоев опережает скорость срединных слоев;
- в) скорости истечения срединных и периферийных слоев примерно равны.

Во всех случаях неприемлемой является выраженная неравномерность скоростей истечения отдельных слоев. Это свидетельствует о засорении отдельных зон формовочной оснастки инородными предметами (сушняк, камни, древесина и т. д.) либо о неправильной конструкции или дефектности формовочной оснастки.

Неравномерность истечения различных слоев приводит в формированию неоднородной структуры бруса, характеризующейся слоистой структурой и различием в плотности различных зон. Вместе с тем определенная неоднородность плотности бруса может рассматриваться как благоприятная с точки зрения компенсации напряжений, возникающих при усадке различных зон сырца в процессе сушки.

Возникающие при сушке в теле сырца напряжения обуславливаются различием в величине усадки у различных слоев. Под действием этих напряжений происходит деформация изделий, а при превышении критического напряжения происходит переход энергии деформаций в энергию вновь образовавшейся поверхности раздела – т. е. происходит образование микро- и макротрещин. Формирование более плотных поверхностных слоев бруса и менее плотной середины способствует снижению внутренних напряжений между поверхностными и внутренними слоями: во-первых, за счет увеличения скорости перемещения влаги от середины к периферии; во-вторых, за счет возможной пластической деформации менее плотных срединных слоев под действием сжимающих усилий, возникающих при усадке наружных слоев.

На практике при формовании керамического бруса методом экструзии наиболее часто возникает задача по торможению центральных слоев бруса. Это обусловлено повышенной карьерной и, как следствие, повышенной формовочной влажностью бруса. Повышение влажности формовочной массы приводит к уменьшению ее эффективной вязкости и снижению внутреннего трения слоев массы. Для корректировки скорости истечения

центральных слоев массы эффективно снижение формовочной влажности путем предварительной сушки части глинистого сырья в сушильном барабане или введения разувлажняющих добавок. Использование тощих разувлажняющих добавок повышает жесткость массы и способствует сдерживанию истечения срединных слоев.

Для снижения скоростей истечения центральных слоев бруса эффективно использование системы пустообразователей и дополнительных тормозов, устанавливаемых на основании кернодержателей, или дополнительных трубок-тормозов, устанавливаемых на кернодержателях перед кернами. Интересен опыт ряда предприятий, где укороченная керновая система используется при формовании полнотелого кирпича. Данная система является эффективным решением, как при борьбе со свилевой структурой бруса, так и регулируемым тормозом, воздействие которого можно изменять при помощи различных комбинаций кернов и тормозных трубок.

Альтернативным методом корректировки скорости истечения слоев бруса является ускорение периферийных слоев. При этом возможно использовать увеличение конусности мундштука для ускорения пристеночных слоев, либо, что наиболее часто используется на отечественных линиях, снижение коэффициента трения между слоями массы и мундштуком за счет использования внутреннего орошения при помощи воды, пара, масла, мазута или их эмульсий.

Формовочную оснастку современных прессов пластического формования можно условно разделить на две основные группы. В первую группу входит оборудование, у которого прессовая головка заканчивается переходной плитой с одним или несколькими отверстиями и на которую соответственно крепятся прочие детали формовочной оснастки (мундштук, система кернодержателей, тормоза). Такая конструкция наиболее привлекательна для формования пустотелого кирпича и крупноформатного блока в один или несколько ручьев.

Ко второй группе относится оборудование, у которого отверстие в переходной плите является переходной зоной от внутренней конусности прессовой головки к внутренней конусности мундштука. При этом плоская площадка либо отсутствует, либо минимальна. Наиболее распространенные на отечественных заводах прессы, например СМК-217, СМК-305, а также СМК-506, относятся к данной группе. Аналогичная конструкция у прессов южнокорейского производства. Это оборудование позволяет формовать как полнотелый, так и пустотелый кирпич нормального формата в один ручей. В штатной конструкции формовочной оснастки прессов данной группы не предусмотрена система тормозов для регулирования скоростей истечения различных слоев бруса. Более того, в основном на предприятиях используют мундштуки и систему кернодержателей собственной разработки, зачастую копируя друг у друга как удачные решения, так и ошибки.

При проектировании формовочной оснастки мы советуем придерживаться следующих рекомендаций. Принципиальная схема формовочной оснастки предложена на рисунке.

Калибровочная рамка должна являться неотъемлемой частью формовочной оснастки и отвечает за геометрические размеры и форму выходящего из пресса бруса. Износостойкость рабочей части калибровочной рамки определяет стабильность геометрических размеров различных партий продукции, выпущенных на предприятии. Использование вкладышей-коробов из тонколистового металла является относительно простым, но малоэкономичным решением по стабилизации геометрических размеров бруса по сравнению с футерованной корундовой керамикой калибровочной рамкой. Для

Конусность, градусы	Длина мундштука, мм
3	153
4	115
5	92
6	76
7	65

улучшения качества поверхности выходящего бруса следует принимать длину плоской внутренней поверхности калибровочной рамки 5–8 мм. При выпуске рядовой полнотелой и пустотелой продукции желательно использовать рифленую калибровочную рамку. Метод нанесения накатки с использованием прижимных роликов менее предпочтителен, так как при этом есть шанс деформации бруса и изменения геометрических размеров.

Мундштук является основным профилирующим элементом формовочной оснастки. При этом он выполняет функции по доведению профиля и структуры бруса до конечных параметров. От правильности выбора параметров мундштука зависят параметры геометрии и внешнего вида кирпича. Мундштук работает совместно с керновой системой при формовке пустотелого кирпича. На вход в мундштук должен поступать поток массы достаточно уплотненный с уже выровненными скоростями потоков. Угол внутренней конусности стенок мундштука лежит в пределах от 1 до 10°. Наиболее часто используют мундштуки с конусностью в 4–6° [1]. Основное требование к мундштуку заключается в том, чтобы все его внутренние стороны имели одинаковую конусность. Рекомендуется, чтобы разница площадей поперечного сечения на входе и выходе из мундштука составляла не более 10%, то есть большие стороны входного сечения должны быть больше соответствующих сторон выходного отверстия не более чем на 16 мм. Соотношения длины мундштуков в зависимости от их конусности приведены в таблице.

Таким образом, в большинстве случаев длина мундштука находится в интервале от 60 до 160 мм. Следует отметить, что при износе поверхности внутренних сторон мундштука может изменяться угол внутренней конусности, что может повлечь изменение характера истечения слоев массы. Чтобы этого не происходило, реко-

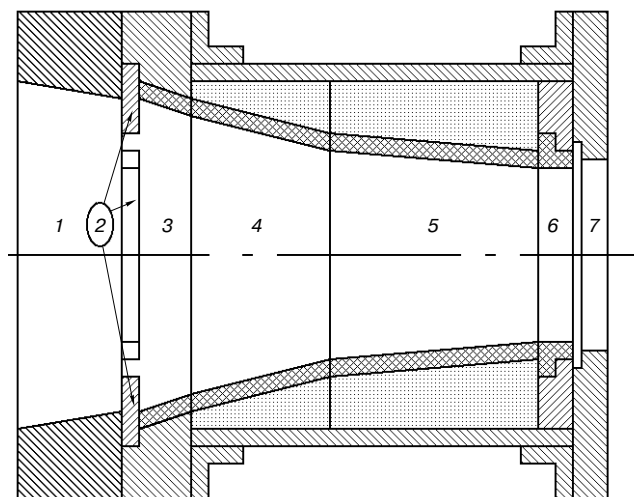


Схема износоустойчивой формовочной оснастки для производства полнотелого кирпича: 1 – головка пресса; 2 – тормоза; 3 – переходная (подмундштучная) плита; 4 – переходная часть мундштука; 5 – выходная часть мундштука; 6 – износоустойчивая калибрующая рамка; 7 – надмундштучная плита

мендуется футеровать мундштук износостойким материалом, например корундовой керамикой.

Для предохранения керамической футеровки от механических повреждений при чистке мундштука рекомендуется установка предохраняющей металлической рамки по контуру керамических деталей.

При анализе данных, полученных с действующих предприятий, установлено, что в основном используются мундштуки длиной от 100 до 350 мм с внутренней конусностью 4–6°. При этом разница площадей входного и выходного сечения достигает 30%. Зачастую на установленных мундштуках наблюдается непропорциональное соотношение сторон входного и выходного отверстий, что приводит к различной конусности у горизонтальных и вертикальных сторон. Чаще всего это вызвано различным соотношением сторон у отверстия переходной плиты и сечения бруса, при этом головка пресса не полностью справляется с задачей по усреднению и уплотнению потоков массы.

Для решения данной проблемы рекомендуется использовать так называемую переходную зону мундштука. Основное назначение переходной зоны мундштука – дополнительное уплотнение и усреднение потоков массы (выполнение функций головки пресса) и согласование выходного отверстия переходной плиты и входного отверстия мундштука.

В связи с тем, что переходный мундштук находится глубже от выхода и соответственно уменьшается степень его влияния на конечный выход потоков массы из бруса, для него возможно допускать некоторую неодинаковость по величине внутренней конусности, необходимой для согласования входных и выходных отверстий мундштука и подмундштучной плиты. Внутренняя конусность переходного мундштука может быть равной или большей внутренней конусности основного мундштука. Допускается использование различной конусности у отдельных зон промежуточного мундштука. Так, можно принимать конусность до 20° на заходе в промежуточный мундштук или в зоне углов для обеспечения достаточного питания внутренних угловых зон мундштука.

Переходная плита выполняет несколько функций: обеспечивает крепление системы мундштуков и кривоной системы к головке пресса; обеспечивает крепление системы внутренних тормозов для регулировки скоростей различных участков потока массы; является участком с внутренней конусностью, выполняющим те же функции по уплотнению и усреднению потока, что и головка с переходным мундштуком.

Система тормозов представляет собой четыре плоские пластины со скругленными концами, устанавливаемые в посадочных местах подмундштучной плиты с возможностью регулировки их положения. Назначение тормозной системы – организация потока массы с целью достаточного заполнения углов мундштука, регулировка скоростей истечения наружных слоев формируемого бруса.

Отсутствие системы перераспределения потоков массы в углы мундштука приводит к тому, что многие предприятия вынуждены значительно увеличивать длину мундштуков и соответственно снижать угол внутренней конусности для обеспечения формовки без выраженных дефектов углов бруса. Однако при этом не достигается максимального уплотнения бруса, что сказывается на недостижении потенциально возможных характеристик продукции по прочности и морозостойкости.

Оптимизация параметров формования, в том числе и изменение угла внутренней конусности, позволит в ряде случаев отказаться от используемого масляного орошения без ухудшения сушильных свойств сырья.

Оптимизация формовочной оснастки позволяет изыскать резервы как по качеству, так и по производительности предприятия без реконструкции печного и сушильного комплексов.

Наряду с подбором оптимальной конструкции формирующей оснастки следует уделять внимание износу деталей формовочной оснастки в процессе эксплуатации [2, 3]. При износе изменяется геометрия и значения местных сопротивлений отдельных участков, что оказывает существенное влияние на перераспределение потоков массы при формовании бруса. Особенно неблагоприятное воздействие оказывает неравномерность износа отдельных участков. Так, износ срединных участков мундштуков ускоряет истечение центральных слоев массы и на этом фоне происходит отставание угловых зон бруса. Чем короче мундштук, тем критичнее одинаковая степень износа влияет на величину угла внутренней конусности. Настоятельно рекомендуется использование износостойкой футеровки внутренней поверхности мундштуков и футерованной калибрующей рамки для стабилизации параметров формования и качества продукции в течение длительного периода времени.

**Ключевые слова:** *пластическое формование кирпича; формовочная оснастка; оснастка; калибровочная рамка; мундштук.*

#### Список литературы

1. Frank Händle (Ed.) Extrusion in Ceramics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
2. Абакумов А.Е., Погребенков В.М., Марков К.В. и др. Унифицированная оснастка для формования керамического кирпича методом экструзии // Строит. материалы. 2010. № 4. С. 60–61.
3. Погребенков В.М., Абакумов А.Е., Пьянков А.Г. и др. Повышение износостойкости формирующей оснастки ленточных прессов // Строит. материалы. 2007. № 2. С. 54–55.

#### Томский политехнический университет

#### Кафедра технологии силикатов и наноматериалов — кирпичным заводам России

- Комплексное исследование силикатного сырья, разработка и корректировка составов масс для производства керамических стеновых материалов
- Проектирование и изготовление износостойкой формирующей оснастки для формования керамического кирпича – кернов, калибрующих рамок, мундштуков
- Анализ эффективности работы заводов по производству керамического кирпича и выработка практических рекомендаций по технологическим переделам
- Разработка и экспертиза технологических проектов реконструкции и строительства заводов по производству керамического кирпича
- Повышение квалификации и переподготовка работников предприятий в области технологии производства керамического кирпича – индивидуальное и в группах
- Целевая подготовка специалистов в области керамических стеновых и других силикатных материалов из выпускников школ и работников предприятий по направлению (очная и заочная формы)

630050, Томск, пр-т Ленина, 30  
Телефон/факс: (3822) 563-169

<http://tpu.ru/html/ts.htm>  
E-mail: [chtd@tpu.ru](mailto:chtd@tpu.ru)

Р.Р. АХТЯМОВ, ведущий специалист лаборатории жаростойких бетонов УралНИИстром;  
Б.Я. ТРОФИМОВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов Южно-Уральского государственного университета (Челябинск)

## Организация производства элементов блочной футеровки вагонеток из жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем

Институт УралНИИстром за свою многолетнюю историю внес значительный вклад в развитие отечественной керамической промышленности. На протяжении 60–80-х гг. УралНИИстром (в то время институт УралНИИстромпроект) выполнял функции головной научно-исследовательской и проектной базы в системе Министерства промышленности строительных материалов РСФСР, в том числе в части модернизации и совершенствования обжиговых агрегатов отрасли.

Однако активная интеграция России в мировую экономику обусловила широкое применение на отечественных предприятиях новых зарубежных продуктов и технологий, что привело к существенному удорожанию футеровочных материалов.

В связи с этим институт УралНИИстром в сотрудничестве с кафедрой строительных материалов Южно-Уральского государственного университета продолжает работу по совершенствованию конструкции и подбору более экономичных отечественных футеровочных материалов для решения проблем, в том числе связанных с увеличением межремонтного срока эксплуатации вагонеточного парка печей обжига керамического кирпича.

Как известно, футеровка вагонеток эксплуатируется в гораздо более тяжелых условиях, чем футеровка стен и перекрытия туннельных печей в зоне обжига. Наряду с постоянными термическими напряжениями при циклическом воздействии температуры в течение 24–36 ч, связанных с подъемом температуры до 1000–1100°C и выше, остыванием в канале печи до 100–200°C и последующим резким охлаждением при выходе из печи под разгрузку, футеровка вагонеток несет также нагрузку от садки, подвергается ударным воздействиям при продвижении вагонеток вдоль канала печи.

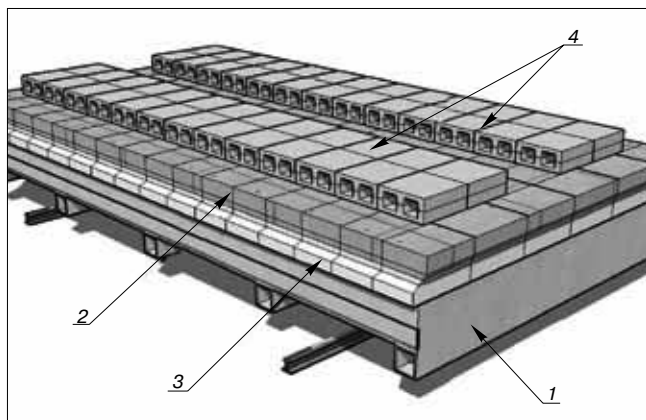


Рис. 1. Конструкция печной вагонетки с использованием модульных блоков из жаростойкого бетона: 1 – основание печной вагонетки; 2 – окантовочные блоки верхнего ряда из жаростойкого бетона; 3 – окантовочные блоки нижнего ряда из жаростойкого бетона; 4 – элементы канализованного пода из жаростойкого бетона

Все это приводит к существенному ограничению срока службы футеровки печных вагонеток и необходимости постоянных затрат на их ремонт, что в конечном итоге приводит к удорожанию основной продукции – керамического кирпича.

Обжиговые вагонетки являются важнейшим элементом конструкции туннельной печи, влияющим в значительной мере на ее эффективную работу, и поэтому должны отвечать широкому спектру требований по качеству, сроку службы и экономичности.

Требования, предъявляемые к футеровке печных вагонеток:

- достаточная прочность, в том числе в нагретом состоянии, чтобы выдерживать массу садки обжигаемого кирпича с учетом ударных нагрузок, возникающих при проталкивании вагонеток;
- ровная поверхность без выступов для установки блоков канализованного пода;
- повышенная термостойкость (способность без разрушения воспринимать многократные циклы нагрева-остывания);
- низкая теплопроводность для снижения теплопотерь через под печи и уменьшения нагрева подшипников колесных пар;
- низкая теплоемкость футеровки для снижения теплотрат на прогрев вагонетки и экономии энергоресурсов;
- обеспечение эффективного конвективного теплообмена через канализованный под для прогрева нижних рядов садки кирпича;
- низкая масса футеровочных элементов для снижения нагрузки на механизмы передвижения печной вагонетки;

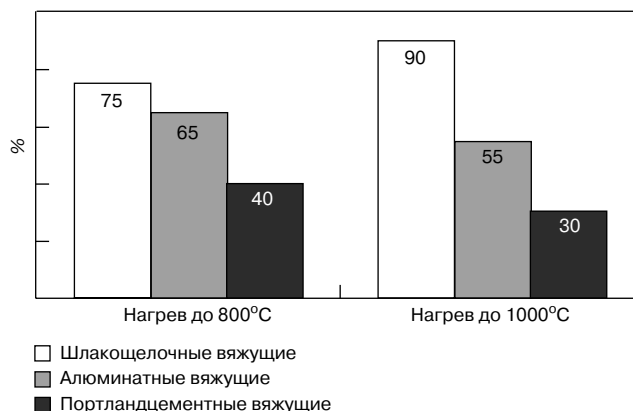


Рис. 2. Остаточная прочность (%) жаростойкого бетона после нагрева до 800°C и 1000°C в зависимости от вида вяжущего

- устойчивость окантовочных блоков к термическим колебаниям, механическому воздействию и деформациям, возникающим во время движения вагонетки, во избежание разрушения и сохранения плотного сочленения вагонеток и примыкания к стенам печи.

Опыт показывает, что при использовании в качестве футеровочного материала жаростойкого бетона наиболее важной характеристикой, определяющей длительность его эксплуатации, является термостойкость – способность воспринимать многократные циклы нагрева-остывания. Неравномерность нагрева отдельных слоев футеровочного материала обуславливает возникновение напряжения сдвига между этими слоями. Величина сдвига зависит от разницы величин расширения неравномерно нагретых слоев, а следовательно, и от величин температурного градиента. Абсолютная величина расширения температурных слоев обуславливается коэффициентом линейного термического расширения футеровочного материала (КЛТР), зависящим от его химико-минералогического состава. Таким образом, при прочих равных условиях термостойкость находится в прямой зависимости от прочности и теплопроводности, и в обратной – от модуля упругости и коэффициента линейного термического расширения (КЛТР) [1].

Одним из путей снижения затрат на изготовление и ремонт футеровки печных вагонеток является использование изделий из жаростойкого бетона с повышенными термомеханическими свойствами. При этом наиболее экономически выгодным вариантом снижения стоимости футеровок печных вагонеток является организация собственного производства элементов блочной футеровки вагонеток из жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем. Институтом УралНИИСтром была разработана конструкция футеровки печной вагонетки с использованием модульных блоков из жаростойкого бетона (рис. 1). Одним из решений повышения долговечности футеровки печной вагонетки 1 было разделение окантовочных блоков на два ряда: верхний 2 и нижний 3. Окантовочные блоки, как и элементы канализованного пода 4 выполнены из жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем.

Основным преимуществом шлакощелочных композиций перед другими видами вяжущих является то, что бетоны на их основе имеют более высокую остаточную прочность (рис. 2) и, как следствие, повышенную термостойкость [2].

Опыт показывает, что применение современных жаростойких бетонов на шлакощелочном вяжущем в 2–2,5 раза увеличивает срок службы вагонеток и на

20–40% удешевляет стоимость футеровок по сравнению с изделиями на цементах гидратационного твердения [3].

Однако в современных источниках отсутствует единая технологическая концепция, описывающая особенности производства жаростойких бетонов на шлакощелочном вяжущем, отсюда различия в его эксплуатационных свойствах и технологии производства.

Принципиально технология бетона на шлакощелочном вяжущем от технологии приготовления бетонов на гидравлических вяжущих отличается использованием в качестве жидкости затворения не воды, а щелочного раствора.

В остальном методика приготовления смеси и изготовления изделий из шлакощелочного бетона мало чем отличается от технологии бетонирования на гидравлических вяжущих.

Участки для производства элементов блочной футеровки вагонеток из жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем по технической документации, разработанной институтом УралНИИСтром, действуют в настоящее время на ряде кирпичных заводов Уральского региона.

Основными преимуществами организации собственного участка по производству элементов блочной футеровки является возможность полного контроля качества продукции, и, самое главное, достигается существенная экономия затрат на изготовление и ремонт футеровки печных вагонеток.

Для организации производства элементов блочной футеровки из жаростойкого бетона, в том числе окантовочных блоков и элементов канализованного пода, требуется участок площадью порядка 200–300 м<sup>2</sup> оборудованный подъемным механизмом (кран-балкой).

Участок по производству жаростойкого бетона (рис. 3) оборудуется 3 бункерами: два из них для хранения шамотного заполнителя – мелкого (фракция 0–5 мм) и крупного (фракция 5–10 мм); третий для хранения тонкодисперсного шлака. Допускается временное хранение составляющих бетонной смеси в переносных емкостях.

Участок приготовления щелочного компонента (рис. 4) состоит из емкости приготовления щелочного раствора 1 с перемешивающим и подогревающим устройствами (вращающиеся лопасти и ТЭНы), над которой устанавливается зонт с активной вытяжкой.

Щелочной компонент поступает в твердом гранулированном виде в герметичных металлических бочках 2. При помощи кран-балки бочки устанавливаются на эстакаду, после чего щелочь загружается в емкость приготовления щелочного раствора. Между емкостью приготовления щелочного раствора и роторным бетоносмесителем

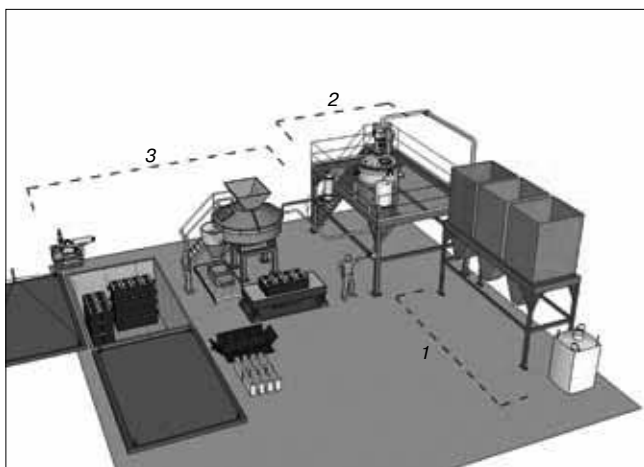


Рис. 3. Участок по производству элементов блочной футеровки печных вагонеток: 1 – приемные бункеры заполнителей и шлака; 2 – пост приготовления щелочного раствора; 3 – пост формования изделий

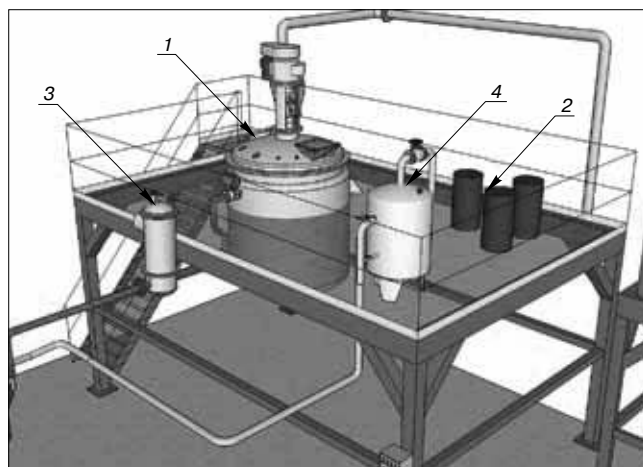


Рис. 4. Пост приготовления щелочного раствора: 1 – емкость приготовления щелочного раствора; 2 – бочки с щелочным компонентом; 3 – бак-дозатор щелочного раствора; 4 – бак-дозатор воды

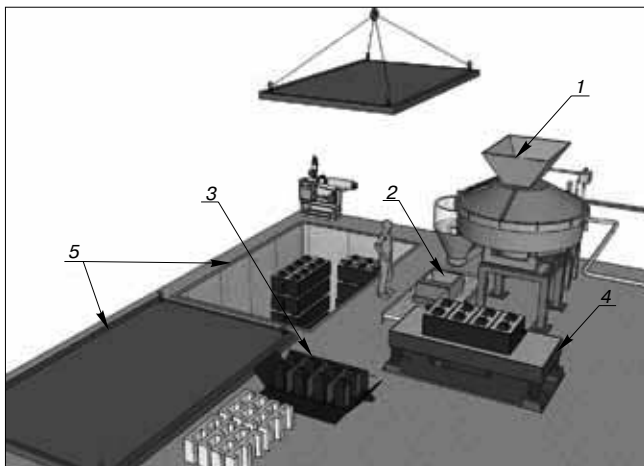


Рис. 5. Пост формования изделий: 1 – бетоносмеситель; 2 – бункер-дозатор; 3 – металлические формы; 4 – вибростол; 5 – камеры термообработки

сителем находится бак-дозатор щелочного раствора на один замес 3 и бак-дозатор воды 4.

Бетонирование и твердение блоков происходит на посту формования изделий (рис. 5). Крупный и мелкий шамотный заполнитель, а также тонкодисперсный шлакоосодержащий компонент переносным емкостным дозатором загружаются в бетоносмеситель принудительного действия с вертикальным валом и нижним приводом 1.

После перемешивания сухой смеси из бака-дозатора в бетоносмеситель заливают щелочной раствор. Одновременно из бака-дозатора воды подается расчетный объем воды, необходимый для получения смеси требуемой пластичности.

Далее при помощи разгрузочного устройства смесь выгружается в бункер-дозатор 2, откуда при помощи кран-балки смесь укладывают в формы 3 для изготовления окантовочных блоков или элементов канализованного пода. Количество используемых форм должно соответствовать количеству производимых блоков, необходимых для футеровки одной вагонетки. Формы должны обеспечивать получение изделий с отклонениями в размерах не более 1–2 мм.

Формование блоков из жаростойкого шлакощелочного бетона предусматривает следующие этапы:

- укладка бетонной смеси в формы;
- виброуплотнение смеси;
- термообработка жаростойкого бетона;
- разборка форм;
- чистка и смазка форм.

Бетонную смесь в формах уплотняют на виброплощадке соответствующей грузоподъемности 4, после чего при помощи кран-балки помещают в камеру термообработки 5, нагреваемую при помощи ТЭНов.

Термообработку жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем следует осуществлять по специальному режиму. Режим термообработки должен назначаться с учетом свойств жаростойкого бетона, конструктивных особенностей форм, технологического режима работы оборудования и времени года.

Рекомендуемый режим твердения:

- 3 ч – подъем температуры до 60°C;
- 20 ч – изотермическая выдержка при 60–80°C;
- 2 ч – подъем температуры до 120°C;
- 20 ч – изотермическая выдержка;
- 3 ч – охлаждение до 40–50°C.

После термообработки формы при помощи кран-балки размещают на подготовленную площадку для охлаждения, распалубки и смазки.

Готовые изделия помечают и аккуратно складировать. Формы чистят, наносят смазочные материалы и отправляют на бетонирование.

Подбор состава жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем с повышенными термомеханическими характеристиками был выполнен лабораторией жаростойких бетонов УралНИИстром и кафедрой строительных материалов ЮУрГУ. Жаростойкий бетон на шлакощелочном вяжущем обладает высокой теплопроводностью, а коэффициенты линейного термического расширения шлакощелочной матрицы и заполнителя близки по значению. Повышенную термостойкость шлакощелочного бетона удалось достичь введением в состав тонкодисперсных компонентов, увеличивающих остаточную прочность, и введением тонкомолотых наполнителей алюмосиликатного состава.

Таким образом, для изготовления конструктивных элементов футеровки высокотемпературных агрегатов периодического действия, в том числе для футеровки печных вагонеток, целесообразно использовать жаростойкие бетоны на шлакощелочном вяжущем. Они обладают наибольшей термостойкостью из числа известных видов жаростойкого бетона, высокой прочностью и могут эксплуатироваться в жестком температурном режиме не менее 2–3 лет.

**Ключевые слова:** шлакощелочное вяжущее, вагонетки, футеровка, жаростойкий бетон.

#### Список литературы

1. Кингери У.Д. Введение в керамику. М.: Стройиздат, 1967. 499 с.
2. Michal Benes. Thermal spalling of concrete exposed to high temperatures. Czech technical university in Prague. 2006.
3. Ахтямов Р.Р. Жаростойкий бетон повышенной термостойкости на шлакощелочном вяжущем // Огнеупоры и техническая керамика. 2010. № 3. С. 43–36.

XV специализированная **ВЫСТАВКА**  
**26–29 мая**  
 Хабаровск  
**Архитектура**  
**СТРОИИНДУСТРИЯ**  
 Город. Экология ДВ региона  
 Фестиваль «ДВ Зодчество» **2011**

www.khabexpo.ru

Легкоатлетический манеж стадиона им. В.И. Ленина

director@khabexpo.ru  
 stroy@khabexpo.ru

ХАБАРОВСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ

ВСЕ-МЕДИУМНОСТЬ ЯРМАРКА

(4212) 56-61-29,  
 57-40-43, 57-40-44

**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.



Михаэль КАППХАН, начальник производства, Хольцим (Германия)

## Добыча мела в зимних условиях

Добыча и переработка мела отличается от стандартных подходов подготовки сырья, принятых в цементной промышленности [1]. Среди всех видов карбонатных пород мел имеет самую высокую влажность. В зависимости от близости грунтовых вод в карьерах влажность колеблется от 18 до 23%. В условиях карьера влажность может быть выше 25%. Продолжительные сильные морозы значительно затрудняют добычу и транспортировку мела, что приводит к снижению производительности горных работ при повышенных затратах или даже к полной остановке производства [2].

Мел достаточно широко распространен в Восточной Европе. В настоящее время в России, Белоруссии и на Украине ведется активная работа над модернизацией существующих производств и созданием новых мощностей. При этом оживленно обсуждается вопрос правильного выбора способа подготовки этого крайне влажного сырья. Важным условием является возможность ведения горных работ и последующих операций подготовки сырья в зимних условиях. Добыча и переработка мела должны продолжаться при температуре до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Цель статьи заключается в попытке найти существенные факторы, которые влияют на зимние операции в карьере, чтобы на основе этого дать обоснованные рекомендации для выбора способа.

Процесс промерзания поверхности уступа можно отнести к явлениям нестационарных тепловых процессов. Для изображения скорости и глубины распространения изотермической поверхности с  $T=0^{\circ}\text{C}$  в карьерных условиях можно использовать модель так называемого полубесконечного тела [3]. В рамках этой модели рассматривается охлаждение тела, в котором встречаются локальные разности температур только перпендикулярно к теплообменивающей поверхности, и которые бесконечно распространяются в этом направлении (рис. 2).

В исходном состоянии ( $\tau=0$ ) тело имеет температуру  $T_0$ . Тепловой обмен начинается с момента, когда внеш-

няя поверхность принимает постоянную температуру  $T_W$ . Температурные поля  $T(x, \tau)$  можно описать дифференциальным уравнением теплопроводности (Фурье) в одномерном виде:

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

Оно подлежит граничным условиям  $T(x, \tau=0)=T_0$   $T(x \rightarrow \infty, \tau)=T_0$   $T(x=0, \tau)=T_W$ : (2)  
Введением переменной  $\mu$

$$\mu = \frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}} \quad (3)$$

получают:  $\partial x = 2\sqrt{\alpha\tau} \cdot \partial \mu$ : (4)

$$\partial \tau = -\frac{4\tau\sqrt{\alpha\tau}}{x} \partial \mu; \quad (5)$$

Подстановкой  $\mu$  в (1) уравнение принимает вид:

$$2\mu \frac{\partial T(\mu)}{\partial \mu} + \frac{\partial^2 T(\mu)}{\partial \mu^2} = 0. \quad (6)$$

Заменой и двойным интегрированием  $T$  можно представить в виде функции ошибок (по Гауссу)  $erf(\mu)$ :



Рис. 1. Производство цемента на основе мела (синий цвет – проекты; красный цвет – существующее производство)

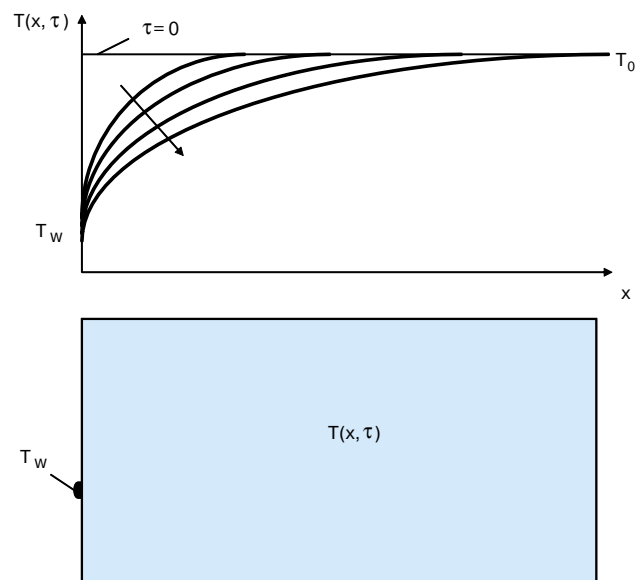


Рис. 2. Модель полубесконечного тела по [3]

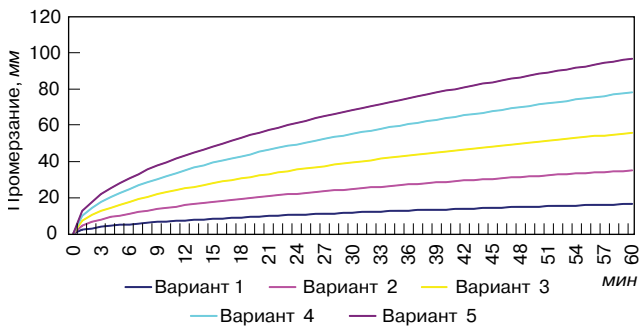


Рис. 3. Промерзание для короткого промежутка времени

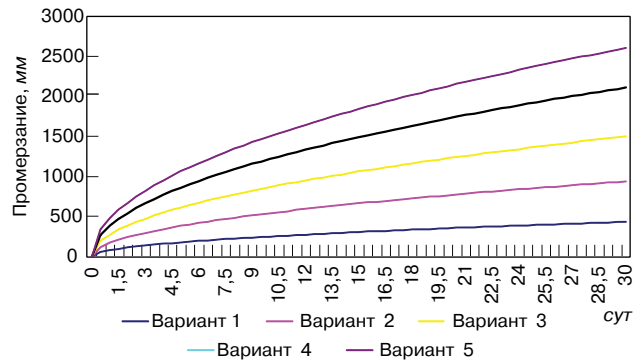


Рис. 4. Промерзание для длительного промежутка времени

$$T(\mu) = c_1 \operatorname{erf}(\mu) + c_2 \quad (7)$$

Пределы интегрирования определяются граничными условиями (2), которые при применении переменной  $\mu$  дают:

$$T(\mu \rightarrow \infty) = T_0; \quad T(\mu = 0) = T_w \quad (8)$$

Учитывая, что  $\operatorname{erf}(0) = 0$  и  $\operatorname{erf}(\infty) = 1$ , получается

$$\frac{T(\mu) - T_w}{T_0 - T_w} = \operatorname{erf}(\mu) \quad (9)$$

С помощью функции ошибок (9) и уравнения (3) можно определить температуру тела в любой момент времени в любой точке [3], т. е. также для данного случая промерзания стены добычи.

Для расчетов требуется знать теплопроводность ( $\alpha$ ) мела. Эта термодинамическая величина связана с теплопроводностью ( $\lambda$ ), плотностью ( $\rho$ ) и специфической теплоемкостью ( $c$ ) данного вещества:

$$\alpha = \lambda / \rho c \quad (10)$$

Для мела следует учитывать, что пористость, влажность и наличие примесей в меловой породе оказывают большое влияние на теплопроводность и теп-

лопроводность. Теплопроводность мела в два раза ниже других карбонатных пород. Это объясняется его высокой пористостью. Теплопроводность мокрого мела на 40% выше, чем сухого. Это результат различных теплопроводностей воздуха и воды в порах [4]. В [5] были обработаны эмпирические данные за период с 1880 по 1903 гг. по мелу в районе Гемпшира (Англия). Рассматривались точки, близкие к поверхности (0,3–9,14 м; 21,34 м). Соответствующие горизонты находились выше естественного уровня грунтовых вод (высота территории 92,7 м). На уровне ниже 1 м естественного уровня грунтовых вод меловые поры ( $42 \pm 5,5\%$  объема) круглый год на 75% были обводнены. Содержание  $\text{CaCO}_3$  в меле составляло  $97,3 \pm 1,3\%$ . В основном эти параметры соответствуют условиям при добыче мела в верхнем уступе (добыча с водооткачкой). Из этих исторических данных была определена теплопроводность мела двумя различными методами. Дж. Питман [5] приводит две величины для теплопроводности:

$$\alpha_1 = 4,615 \pm 0,5443 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$$

$$\alpha_a = 4,365 \pm 0,497 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$$

При постепенном замерзании меловой стены (переход фаз воды в порах) меняется величина теплопроводности теперь уже замороженного мела. Тем не менее, для приблизительной оценки глубины замерзания, можно считать значение теплопроводности для мела постоянным, поскольку лед ( $\alpha \sim 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$ ) имеет более высокую теплопроводность, чем вода ( $\alpha \sim 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$ ). То есть лед действует скорее как проводник, чем изолятор в процессе замораживания. В дальнейшем для оценочных расчетов было использовано значение теплопроводности мела  $\alpha = 4,49 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$ .

Изучали различные случаи подбором  $T_0$  (температура внутри мела) и  $T_w$  (температура на поверхности) для различных погодных условий. Варианты 1–5 охватывают все условия, от легкого до сильного мороза.

Рассматривали глубину промерзания для промежутка времени до 60 мин (рис. 3) и для длительного до 30 сут. (рис. 4).

За 1 ч промерзание поверхности уступа, в зависимости от температуры составляет от 1 (вариант 1) до 16 см (вариант 5) (рис. 3). При горных работах в карьере завода Лагердорф (ширина заходки составляет 17,5 м; высота уступа 11 м) роторный экскаватор каждые 5–7 минут должен начинать новый срез. В течение этого времени глубина промерзания даже при сильном морозе

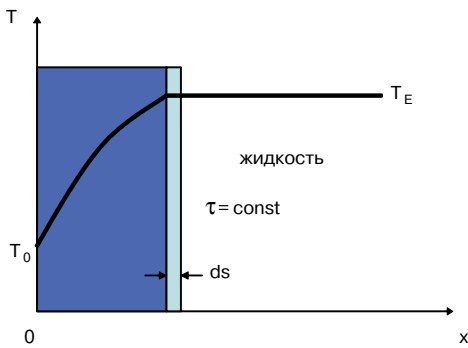


Рис. 5. Температурный график при замерзании плоского твердого тела по [6]

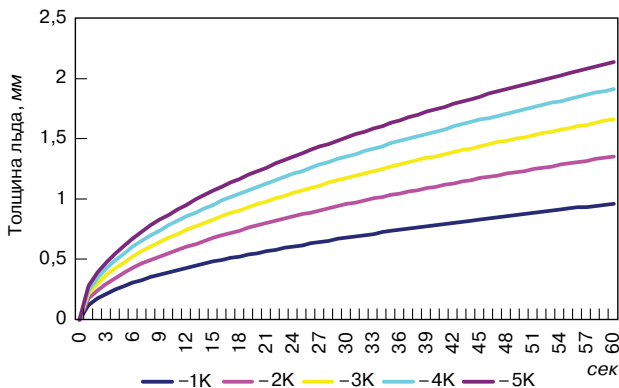


Рис. 6. Зависимость роста ледяного слоя от времени

Вариант 1	$T_0 = 7^\circ\text{C}$	$T_w = -2^\circ\text{C}$
Вариант 2	$T_0 = 6^\circ\text{C}$	$T_w = -5^\circ\text{C}$
Вариант 3	$T_0 = 5^\circ\text{C}$	$T_w = -10^\circ\text{C}$
Вариант 4	$T_0 = 4^\circ\text{C}$	$T_w = -20^\circ\text{C}$
Вариант 5	$T_0 = 3^\circ\text{C}$	$T_w = -30^\circ\text{C}$

Группа 1	Группа 2
	 Бульдозеры с риппером (БР)
	 Цепные многоковшовые экскаваторы (ЦМЭ)
	 Фрейзерные комбайны (ФК)
Роторные экскаваторы (РЭ)	
Одноковшовые экскаваторы (ОКЭ)	

Рис. 7. Классификация экскаваторов по принципу добычи

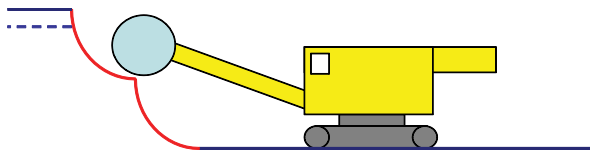


Рис. 8. Морозодоступные поверхности при блочном режиме роторного экскаватора ( синие – замороженные; красные – незамороженные слои)

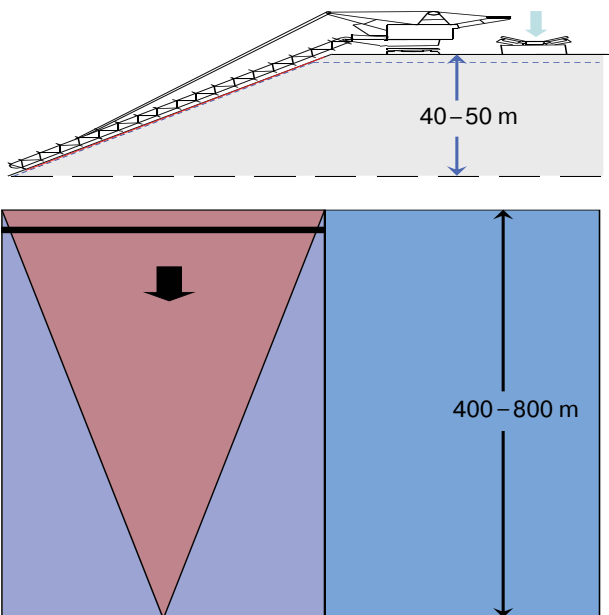


Рис. 9. Морозодоступные поверхности при работе ЦМЭ (синие – замороженные, красные – незамороженные)

(вариант 5) составляет не более 30 мм. Это одна пятая часть глубины среза. При среднем морозе (вариант 3) эта глубина составляет только 17 мм, а при слабом морозе (вариант 1) – 5 мм. При морозе (вариант 3) промерзает лишь одна десятая часть мела из добываемой стены.

Продвижение изотермической поверхности с  $T=0^{\circ}\text{C}$  в глубь стены не означает, что вода в порах мела мгновенно замерзает, т. е. ледяной фронт отстает от морозного фронта. Это явление также можно отнести к нестационарным тепловым процессам, поскольку освобождающаяся энтальпия заморозания  $\Delta h_E=333,4 \text{ кДж/кг}$  должна проходить через твердое тело наружу. Если теплоемкость замороженного слоя ничтожно мала, можно исходить из температурного градиента как при стационарной теплопроводности, что называют квазистационарным приближением. Его можно применять для описания заморозания воды и водосодержащих тел, так как энтальпия заморозания воды значительна [6]. Для качественной оценки процесса заморозания мела полезно рассмотреть процесс образования льда подробнее.

Пусть твердое тело при  $x=0$  охлаждено до постоянной температуры  $T_0$ , которая меньше температуры заморозания  $T_E$  (рис. 5). У перемещающейся направо поверхности раздела фаз  $x=s$  твердое тело соприкасается с жидкостью, которая уже имеет температуру заморозания. При продвижении поверхности раздела фаз, т. е. при заморозании слоя толщины  $ds$  освобождается энтальпия заморозания. Она должна быть проведена к охлажденной поверхности твердого тела при  $x=0$  [6].

Тепловой поток на границе раздела фаз и отведенный поток тепловой энергии должны быть равны. Следовательно:

$$\Delta h_E \rho_E \frac{ds}{d\tau} = -\lambda_E \frac{T_E - T_0}{s(\tau)}. \quad (11)$$

В квазистационарном приближении (временно и локально постоянные температуры в жидкой фазе, а также на поверхности теплоотводной стены) получается дифференциальное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами (11). С его помощью можно описать образование льда как функцию времени:

$$S_{\tau} = \sqrt{2\Delta T \frac{\lambda}{\Delta h_E \rho_E} \cdot T}. \quad (12)$$

Слой в начальный период быстро растет, затем рост замедляется (рис. 6).

При небольшой разности температур между жидкой фазой и теплоотводной стеной уже за 8 с (при  $-2^{\circ}\text{C}$ ) или соответственно за 16 с (при  $-1^{\circ}\text{C}$ ) толщина ледяного слоя достигает 500 мм. Можно сказать, что вода в порах за считанные секунды после достижения морозного фронта заморозает. Все выводы, сделанные выше по поводу глубины и времени проникновения мороза в меловую стену, можно с учетом некоторой временной задержки перенести и на поведение ледяного фронта в меловой стене, так как размер меловых пор очень мал и тем самым вода в порах быстро заморозает.

Зимние горные операции в основном определяются тремя факторами – типом экскаватора, видом транспортировки и способом подготовки материала.

Меловая стена начинает промерзать через наружную поверхность. За 30 сут легкого или среднего мороза (варианты 1–3) морозный фронт проникает в стену примерно на 0,5 м (рис. 4). За этим слоем мел остается незамороженным. Если удастся постоянной и безостановочной добычей (1,5–2 м/ч) охватить эти незамороженные участки, то соблюдается одно важное

условие бесперебойных зимних горных операций. При сравнении распространенных экскаваторов для добычи мела их разделяют на два класса по принципу добычи (рис. 7).

К первой группе относятся экскаваторы, которые копают в объем меловой стены (большая глубина копания при сравнительно узкой ширине блока): роторные экскаваторы (РЭ) и одноковшовые экскаваторы (ОКЭ). В другую группу входят машины для добычи, которые охватывают большие площади (маленькая глубина копания при большой ширине блока) – бульдозеры с риппером (БР), цепные многоковшовые экскаваторы (ЦМЭ) и фрейзерные комбайны (ФК). При добыче 1 м<sup>3</sup> мела, машины из первой группы создают минимум новой открытой поверхности уступа, которая может подвергаться воздействиям мороза. Как раз такие экскаваторы предпочтительны для горных работ при морозе. Примером может служить РЭ при добыче мела в блочном режиме (рис. 8).

Одноковшовые экскаваторы также могут добывать мел при минимуме вновь созданной поверхности. ОКЭ из-за их специфического метода добычи вырывает мел из стены крупными кусками. Добытые куски остаются вблизи ОКЭ, пока он не раздробит и не загрузит их на транспорт. Чем мельче куски после дробления, чем дольше они лежат на морозе и чем сильнее мороз, тем выше доля льда в меле, добытом ОКЭ.

Такие экскаваторы (ОКЭ) могут добывать незамороженный мел из стены, но они менее пригодны, из-за последующего замораживания добытого материала при транспортировке.

Работа ЦМЭ при морозе крайне затруднена, потому что он охватывает 10–20 см слоя мела на большой площади, т. е. копает в чувствительном к морозам поверхностном слое, а не в защищенном от мороза объеме стены (рис. 9). Зимой у ЦМЭ возникает опасность нарастания льда на конструкции ковшовой стрелы, что может нарушить равновесие всего экскаватора. Для соблюдения правил технической безопасности, существуют рабочие инструкции для остановки ЦМЭ при продолжительном морозе. Подводная добыча с помощью ЦМЭ обеспечивает лучшую защиту от мороза, зато прибавляются проблемы предотвращения замерзания озера вблизи ковшовой стрелы. Годность различных машин при зимних горных работах можно установить в порядке убывания: группа 1 (РЭ, ОКЭ) → группа 2 (БР, ЦМЭ, ФК)



Рис. 10. Роторный экскаватор, мобильный шламоприготовитель

Выбор экскаватора еще не определяет бесперебойность ведения горных работ при морозе. Например, если РЭ передает мелкоразрыхленный, пока еще незамороженный мел на конвейер, то он при транспортировке подвергается воздействию мороза. Такой мелкоразрыхленный мел быстро замерзает из-за большой поверхности на единицу массы. Следовательно, для обеспечения бесперебойной работы при морозе большую роль играет и вид транспорта.

В настоящее время для транспортировки мела с места добычи на место переработки применяют ленточные конвейеры. При этом мел в любом случае находится в виде кусков. Поскольку, как правило, расстояние транспортировки составляет несколько километров, время нахождения материала на конвейере не менее 10–15 мин (пример Laeگردorf: скорость лентны 3 м/с, расстояние 2 км). Модельные расчеты показали, что даже при легком морозе (вариант 2) за 15 мин он проникает в меловые куски примерно на 17 мм. Таким образом, куски размером 30–40 мм могут полностью замерзнуть во время транспортировки даже в том случае, если они были добыты РЭ в незамороженном виде. В результате РЭ, предпочтительный с точки зрения морозостойкости, теряет свои преимущества на этапе транспортировки. Но и остальные применяемые на сегодняшний день комбинации экскаваторов с конвейерами, не в состоянии решить проблему промерзания кускового мела во время транспортировки. Если дальнейшая технология переработки мела предусматривает приготовление шлама, то открывается интересная альтернатива – переход на гидравлический транспорт с использованием агрегата шламоприготовления с постановкой его в начало технологической цепи. Этот метод (мобильное шламоприготовление) был впервые осуществлен для транспортировки мела в 2009 г. на заводе Лагердорф (рис. 10).

На первый взгляд, из-за возможного замерзания воды мокрый способ переработки мела кажется неприемлемым. С другой стороны, известно, что размораживание льда с помощью воды намного эффективнее, чем воздухом. При морозе вода, идущая на шламоприготовление вносит дополнительное тепло в процесс. Возможен предварительный подогрев воды для ускорения размораживания. В результате именно шламоприготовление является наиболее удобным и доступным способом борьбы со льдом в меле. Трубопроводы намного легче защитить от воздействия мороза (изоляция, подземной прокладкой), чем железнодорожные вагоны или конвейеры. Применение гидравлического транспорта позволяет защитить мел от замораживания при транспортировке. Альтернативным мокрому способу подготовки мела является сухой способ.

Впервые в цементной промышленности традиционный способ разработки месторождений применили на польском цементном заводе Chelm. Там уже не выпускается меловой шлам. Мел транспортируется и складировается в кусковом виде. По имеющейся информации [2] сухую подготовку мела приходится останавливать при продолжительных морозах. Мощность завода была рассчитана на 9 мес производства в году.

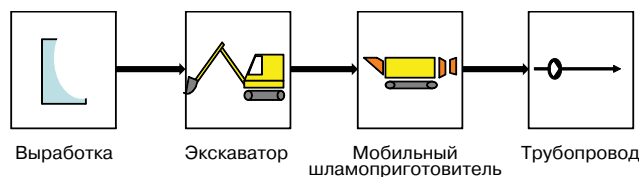


Рис. 11. Технология AFS для нефтяного песка [7]

Долголетний опыт работы со шламом на российских цементных заводах, работающих по мокрому способу, показывает, что там производство работает при температуре до  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Даже при добыче мела РЭ не исключено, что часть его попадает в процесс шламоприготовления в замороженном виде. Чтобы ускорить процесс размораживания мела, можно кроме подачи подогретой воды увеличить площадь теплообмена кусков. В шламовых болтушках меловые куски сравнительно медленно разбалтываются при подаче воды, происходит автогенное уменьшение кусков внутри барабана. Когда готовят шлам в молотковой мельнице с одновременной подачей воды (принцип мобильного шламоприготовителя), быстро создается новая активная поверхность в кусках, что существенно ускоряет теплопередачу.

Суммируя все эти соображения, приходим к выводу, что в зимних условиях для лучшей защиты мела от мороза нужно использовать комбинацию РЭ, мобильного шламоприготовителя и гидравлической транспортировки шлама из карьера.

В любом случае горные работы при морозе требуют особых мер защиты мелового карьера. При правильном выборе технологии можно сдвинуть температурные границы и повысить производительность при работе в зимних условиях.

В литературе [7, 8] можно найти сообщения об аналогичных подходах добычи в Канаде нефтяного песка, который похож на технологию мобильного шламоприготовления мела в Laegerdorf (рис. 11).

Так называемая технология AFS включает технологию мобильного шламоприготовления, транспорт-

ную функцию с операцией переработки (здесь шламоприготовление мела по мокрому способу подготовки сырья, там первичная экстракция битума обработкой горячей водой в многофазовой системе нефтяного песка). Обе технологии, как мобильный шламоприготовитель для мела, так и AFS для нефтяного песка, при работе в зимних условиях решают аналогичные задачи. Предпосылкой для бесперебойной работы при морозе является профессиональная подготовка к зиме (изоляция трубопроводов, возможности слива, местный обогрев). Суровые морозы 2009–2010 гг. показали слабые места в работе мобильного шламоприготовителя в Laegerdorf. Следующие зимы должны проверить на практике примененную оптимизацию производства.

#### Список литературы

1. *Kappahn M.*: Modern cement production with chalk, ZKG INTERNATIONAL, 63 (2010), No. 7/8, P. 69–83.
2. Internal Holcim – Report: CMS–CPM 06/1203/E, HGRS, 2006.
3. *Langeheinecke K.* (Herausgeber): Thermodynamik für Ingenieure, Vieweg Verlag, Wiesbaden 2003.
4. *Thomas J. et al.* Engineering Geology, 7 (1973), pp.3–12.
5. *Pitman J.* Engineering Geology, 20 (1984), P. 207–218.
6. *Baehr H.D. et al.*: Wärme- und Stoffübertragung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2004.
7. *Frimpong S. et al.* J.Fluids Eng. January 2004. Volume 126, Issue 1, 133.
8. *Sharma A. et al.* Int.J.Mining and Mineral Engineering, Vol.1, No.3, 2009, 278.

**18-20 мая 2011 г.**  
**Екатеринбург**  
**КОСК «Россия, Высоцкого, 14»**

Организатор:  
 АССОЦИАЦИЯ  
 УНИВЕРСАЛЬНЫЕ  
 ВЫСТАВКИ **УВ**

форум  
**ИННОВАЦИИ В  
 СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ!**

тел/факс: (343) 355-00-49, 355-01-49  
 e-mail: [olga@unexpo.ru](mailto:olga@unexpo.ru), [www.unexpo.ru](http://www.unexpo.ru)

В.Л. БАРОН, д-р техн. наук, генеральный директор Ассоциации «Союзвзрывпром» (Москва)

## **Исследования безопасности взрывных работ**

Ассоциация «Союзвзрывпром» постоянно уделяет большое внимание повышению безопасности буровзрывных работ, в первую очередь на карьерах по добыче минерального сырья для производства строительных материалов и при производстве технически наиболее сложных специальных взрывных работ, в том числе в стесненных условиях. В последние 3–5 лет такие исследования ведутся в следующих направлениях: обоснование размеров опасных зон для машин и механизмов; снижение потерь территорий из-за разлета кусков породы; уменьшение степени загрязнения прилегающих территорий и атмосферы карьеров пылью, образующейся при массовых взрывах; обоснование размеров минимальных опасных зон и рациональных параметров при использовании защитных укрытий; исключение поврежденных охраняемых объектов, находящихся в ближних зонах.

Соответствующие рекомендации действующих Технических правил и других нормативных документов в основном носят недостаточно конкретный характер, так как не учитывают фактических условий ведения работ и не предусматривают возможности регулирования различных негативных последствий массовых взрывов в зависимости от изменения параметров отбойки. В них также никак не учитываются и возможные отклонения проектных и фактических результатов взрывов.

Основной объем проведенных исследований в 2004–2006 гг. был связан с обоснованием размеров опасных зон по разлету кусков для машин и механизмов ( $R_M$ ), а также с установлением неизбежных потерь территорий при взрывной отбойке (пахотных земель, лесных массивов, водных бассейнов и т. п.). Методики таких оценок, требуемых органами Ростехнадзора в последнее время не менее чем в 60–70% случаев при оформлении разрешений на взрывные работы, в действующих «Единых правилах безопасности при взрывных работах» отсутствуют. На объектах Ассоциации в настоящее время для прогнозирования  $R_M$  используется разработанное в Союзвзрывпроме Руководство [1], особенностью которого является детальный учет не только всех основных параметров БВР, но и рациональных диапазонов их регулирования при современной практике отбойки.

Определение возможных потерь территорий должно учитывать вероятностный характер распределения отбитых кусков, располагаемых на различных расстояниях от зарядов ВВ. Как показали прямые измерения, на карьерах стройматериалов потери территорий следует рассматривать в следующих специально выделенных зонах разлета: сплошного навала отбитых пород; в опасных зонах, устанавливаемых для машин и механизмов, и зонах по разлету, принимаемых для людей. В этих трех зонах вероятность поражения территорий может изменяться 1 до 0. При прогнозировании расчетов потерь территорий вследствие разлета кусков породы необходимо учитывать не только абсолютную дальность их перемещения, но и вероятность располо-

жения кусков породы на различных расстояниях от зарядов ВВ. Для определения доли таких потерь предлагается использовать электронные таблицы в системе EXCEL. Особенностью является учет ветра в момент взрывов как при однорядном, так и многорядном расположении зарядов.

Известно, что основные экологические нагрузки при взрывных работах также связаны с загрязнением прилегающих территорий и атмосферы карьеров пылью, образующейся при массовых взрывах. По данным исследований, выполненных совместно с Институтом динамики геосфер РАН, размер частиц пыли при этом составляет до 300 мкм, а максимальная ширина зон загрязнения может достигать 20–30 км [2, 3]. В [4] указывается, что на территории карьеров степень запыленности не должна превышать  $0,5 \text{ мг/м}^3$ , а по требованиям Ростехнадзора в зависимости от вида пыли и содержания в воздухе свободного оксида кремния  $\text{SiO}_2$  рекомендуемая степень запыленности может изменяться от 1 до  $10 \text{ мг/м}^3$  [5].

Экспериментально установлено, что максимальная высота образующихся облаков при существующей технологии взрывной отбойки скважинными зарядами на карьерах стройматериалов составляет 500 м, а дальность выпадения преобладающей массы пылевых частиц (крупностью до 300 мкм) в случае отсутствия ветра ограничивается 3 км. При этом высота воздушного столба  $H$ , загрязненного пылью, убывает (на указанных максимальных расстояниях  $R$  по линейному закону:  $500(1-R/3000)$ ). При отбойке шпуровыми зарядами максимальная высота облаков, образующихся при взрывах, составляет не более 50–60 м, а средняя дальность выпадения преобладающей массы пылевых частиц — 350 м (значение последнего параметра обычно изменяется в диапазоне 300–400 м). Высота загрязненного пылевого столба воздуха, так же как и для случаев применения скважинных зарядов, убывает в зависимости от  $R$  по линейному закону:  $55(1-R/350)$ .

Учет влияния интенсивности ветра на степень запыленности базируется на данных измерений относительной массы пыли, остающейся в пылегазовом облаке, и времени его смещения ( $t$ ) на заданное расстояние. Максимальная величина  $t$  может быть принята равной 500 с. Такое значение соответствует рекомендациям «Единых правил безопасности при взрывных работах» по разрешению времени подхода персонала для осмотра результатов взрыва после рассеивания образующихся облаков.

Дополнительное расстояние переноса пыли под действием ветра (после достижения облаком заданного расстояния без учета ветра) может быть оценено исходя из предположения, что на расстояниях не более 2000 м от геометрического центра зарядов и при  $t$  до 500 с шкала изменения времени смещения  $t$  является равномерной. Установлено, что точность определения расстояний при такой методике расчетов не менее 0,9.

Группа пород, по СНИПу	Категория трещиноватости пород для высот уступов (H) до 10 м		Категория трещиноватости (H=10,1–15 м)		Категория трещиноватости (H=15,1–20 м)	
	II–III	IV–V	II–III	IV–V	II–III	IV–V
IV–VI	1,25	1,23	1,23	1,18	1,16	1,15
VII–VIII	1,22	1,2	1,19	1,16	1,14	1,12
IX–XI	1,2	1,17	1,16	1,14	1,13	1,1

Прогнозирование (точечное и зональное) количества выпавшей пыли ( $г/м^2$ ) и запыленности воздуха ( $мг/м^3$ ), а также размеров соответствующих опасных зон может осуществляться в среде EXCEL с помощью электронных таблиц, в которые вводятся следующие исходные данные: масса зарядов в серии; удельный расход ВВ; коэффициент турбулентной диффузии, составляющий при современной технологии БВР  $10 м^2/с$ ; плотность взрывааемых пород; предельно допустимая запыленность воздуха и ожидаемая скорость ветра в момент взрыва (от 0 до 8 м/с).

Определение массы защитных укрытий и радиусов опасных зон по разлету кусков породы из-под укрытий следует осуществлять с учетом размеров образующихся зон разрушения –  $L_p$  (в сторону верхних площадок отбиваемых уступов), обычно рассчитываемых в зависимости от длины линии наименьшего сопротивления или диаметра заряжаемых выработок. В том случае, когда проектная длина забойки ( $L_3$ ) превышает размеры  $L_p$ , слой пород мощностью  $L_3 - L_p$  может рассматриваться как дополнительное естественное укрытие, способствующее уменьшению интенсивности разлета. При таком методическом подходе масса укрытий может быть уменьшена в стесненных условиях на 20–30% или соответственно снижена дальность разлета по сравнению с вычислениями по действующим методикам. В действующем в Ассоциации «Союзвзрывпром» «Руководстве по применению защитных укрытий...» [6] кроме рекомендации по выбору конструкции зарядов даны указания по выбору конструкций и массы наиболее распространенных на практике укрытий (сплошных и газопроницаемых), а также предельных расстояний до охраняемых объектов.

Важным результатом проведенных исследований возможных негативных последствий взрывов явилось также уточнение рекомендаций по выбору основного проектного показателя – расхода ВВ в условиях, характерных как для эффективного применения БВР на карьерах стройматериалов, так и при выполнении специальных взрывных работ. В частности, установлено изменение удельного расхода в случае отбойки различными ВВ, в том числе, эмульсионными и другими ВВ простейшего состава, влияние на качество дробления крепости пород, их трещиноватости и обводненности, размеров кондиционного куска. Эти данные используются главным образом при разработке типовых проектов БВР, прогнозировании расходов ВВ и радиусов опасных зон для машин и механизмов, оценке возможных потерь территорий и степени их загрязнения, а также при выборе минимальных расстояний до охраняемых объектов и массы укрытий.

Средние значения индексов вариации параметров, рассчитываемых по рекомендациям Союзвзрывпрома, приведены в таблице.

Категории трещиноватости пород даны по известной шкале Междудомственной комиссии по взрывному делу.

Разработанные руководства в соответствии с требованиями Ростехнадзора прошли соответствующую экс-

пертизу по промышленной безопасности и успешно применяются на объектах Ассоциации «Союзвзрывпром» более 5 лет.

**Ключевые слова:** буровзрывные работы, безопасность работ, потери территории, запыленность, защитные укрытия.

#### Список литературы

1. Руководство по определению радиусов опасных зон по разлету кусков для механического оборудования, зданий и сооружений и оценке потерь территории в пределах границ указанных зон при производстве взрывных работ на земной поверхности. М.: Ассоциация «Союзвзрывпром», 2009.
2. Зыков Ю.Н., Перник Л.М., Сивак А.А. Выпадение пыли из газопылевого облака при массовом взрыве на карьере // «Геофизика сильных возмущений» сб. научных трудов Института динамики геосфер РАН. М., 2002. С. 481–492.
3. Руководство по определению размеров зон по запыленности атмосферы и степени загрязнения прилегающих территорий пылью из пылегазового облака при взрывной отбойке на земной поверхности. М.: Ассоциация «Союзвзрывпром», 2010.
4. Открытые горные работы: Справочное издание. М.: Горное бюро, 1994, 590 с.
5. Богацкий В.Ф., Фридман А.Г. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов. М.: Недра, 1982. С. 65.
6. Руководство по применению защитных укрытий при производстве взрывных работ на земной поверхности. М.: Ассоциация «Союзвзрывпром», 2010.

**BIPLUS**™

Отопительные приборы

По вопросам закупок  
обращайтесь в ООО «Интерма»  
Тел./факс: (495) 783-7000  
E-mail: info@interma.ru

# Движение в будущее



В 2012 г. Самарский завод «Строммашина» будет отмечать свой семидесятилетний юбилей. Все годы существования завод работает на обеспечение российской промышленности необходимыми современными и технически совершенными оборудованием и комплексами для производства гипсовых вяжущих, минерального порошка, керамзита, железобетонных изделий, помола и сушки инертных материалов, термической утилизации отходов бурения и др.

Созданы новые поколения технологических комплексов и модификации мельниц, сушильных барабанов и другого технологического оборудования, отвечающие современным требованиям по производительности, экологичности, надежности в эксплуатации и качеству производимого продукта.

В настоящее время на территории России, стран ближнего и дальнего зарубежья эксплуатируются тысячи мельниц, сушильных барабанов, бетоноукладчиков и других видов оборудования и технологических комплексов, выпущенных на заводе.

В 2010 г. была кардинально пересмотрена система работы с заказчиками для увеличения качества и скорости поставки оборудования и предоставления услуг. Из департамента продаж было сформировано три дивизиона. Два дивизиона работают с заказчиками от вышеупомянутых отраслей, а третий занимается оперативной поставкой запасных частей к уже работающему оборудованию у заказчика.

Также на основе технической службы был сформирован инженеринговый центр «Строммашина», это было сделано, чтобы предлагать клиентам не только качественное и надежное оборудование, но и услуги по созданию, модернизации и обеспечению функционирования всего производства в целом.

Качество продукции позволяет занимать предприятию ведущие позиции на рынке промышленного оборудования России и вести активную политику экспорта в другие страны Европы и Азии. Поэтому для более близкого и эффективного общения с клиентами в ряде стран открыты и планируется открытие представительств Самарского завода «Строммашина». В частности, в 2010 г. начали свою работу представительства в Украине и Казахстане.

Работая на благо своих клиентов, предприятие предоставляет свои производственные и территориальные ресурсы своим партнерам и постоянно ищет новых для взаимовыгодного сотрудничества.

Предприятие является членом многих промышленно-отраслевых ассоциаций и приносит серьезный вклад в их развитие. В 2010 г. Самарский завод «Строммашина» стал полноправным членом Российской гипсовой ассоциации и Союза производителей извести.

Самарский завод «Строммашина» является постоянным участником промышленных конференций и выставок и организатором отраслевых презентаций. Все это делается для развития и поиска инновационных решений в инженеринге, сервисе и разработке нового оборудования.

Самарский завод «Строммашина» будет продолжать работать над развитием инновационно-технических направлений и улучшением качества предоставления услуг.

**ЗАО «ТД Строммашина»**  
**Тел./факс: (846) 279-29-04, 279-28-04**  
**www.strommash.ru**





# Взрывные и безвзрывные способы разрушения скальных пород на карьерах

стали темой семинара, состоявшегося в Москве 23 декабря 2010 г. Организаторами выступили Ассоциация «Недра» и Московский государственный горный университет. В работе семинара приняли участие 40 специалистов из России, Белоруссии и Эстонии. Основное внимание участников было сосредоточено на практических вопросах.

Разрушение массива скальных пород, то есть подготовка горных пород к выемке – один из процессов открытых горных работ, результаты которого предопределяет эффективность остальных процессов добычи и переработки горной массы. В настоящее время на горных работах преобладает взрывной способ. Применяются также механические, электрофизические, тепловые, химические, гидравлические способы разрушения горных пород. Они имеют существенные различия в технологии, области рационального применения четко определены лишь для некоторых способов.

Взрывной способ разрушения скальных пород останется на многие годы преобладающим, поскольку является самым дешевым. Однако он небезопасен, в том числе для окружающей среды. При взрывании массива обычно нарушается его природная структура, из-за чего возрастают потери и происходит разубоживание полезного ископаемого при выемке. Однако буровзрывные работы совершенствуются и значимость этих недостатков убывает.

Заведующий кафедрой МГУ д-р техн. наук **В.А. Белин** отметил, что в настоящее время расход взрывчатых веществ (ВВ), а следовательно, и объем взрывных работ сократились на 30%. Среди применяемых ВВ преобладают эмульсионные. Основная часть ВВ изготавливается на горных предприятиях. Характеристики создаваемых «новых» ВВ, как правило, не отличаются от известных. Остается очень низким уровень механизации взрывных работ. Большинство несчастных случаев при ведении взрывных работ происходит по организационным причинам.

Генеральный директор ОАО «Союзвзрывпром» д-р техн. наук **В.Л. Барон** остановился на вопросах безопасности взрывных работ. Он отметил, что уровень безопасности повысился, поскольку доля электрических средств инициирования составляет теперь только половину всех используемых средств инициирования. Проведенные исследования позволили обосновать возможность уменьшения размеров охранных целиков и санитарных зон. Имеется возможность регулировать сейсмичность взрывов, что также позволяет увеличивать объемы доступных для разработки запасов полезного ископаемого.

В выступлении заместителя директора ООО «Геотим» д-ра техн. наук **В.П. Сафронова** была обоснована целесообразность применения взрывных блоков, откос которых имеет форму цилиндрической поверхности. Предложенная форма блока позволяет

уменьшить расход ВВ на 15%. Докладчик также отметил необходимость проходить разрезную траншею с учетом системы трещин массива.

Из **альтернативных способов разрушения скальных пород** в промышленную практику вошли механические способы с применением нескольких видов оборудования (табл. 1). Наибольшее распространение на карьерах получили рыхлители (бульдозерно-рыхлительные агрегаты). Рыхлители обычно используют для полойной выемки, в том числе разнородных пород. Чтобы расширить диапазон их применения, массив предварительно ослабляют взрывами. Была предпринята попытка увеличить усилие воздействия зуба на забой, совместив зуб рыхлителя с гидромолотом. Три опытных образца таких рыхлителей на тракторах разной мощности, включая Т-500, были изготовлены в СССР в 80-е гг. прошлого века. Испытания показали обнадеживающие результаты. Но работа не была завершена. Компания «Катерпиллер» в своих проработках продвинулась дальше и оснастила гидромолотами два самых мощных трактора – Д10 и Д11. Новые модификации были включены в типоразмерный ряд оборудования. Однако новшество себя не оправдало.

Наряду с распространенными появляются необычные варианты применения рыхлителей. На нескольких зарубежных карьерах цементного сырья рыхлители являются одним из звеньев сложной системы усреднения неоднородных карбонатных пород. Для поставки в производство сырья, колебания контролируемых компонентов которого находятся в заданных пределах, одновременно разрабатывается несколько забоев. Известны карьеры, на которых одновременно разрабатывается 3–4 забоя. Сначала рыхлитель подготавливает к выемке известняк во всех забоях. Затем колесный скрепер заполняет ковш в каждом из забоев заданным объемом полезного ископаемого, транспортирует горную массу на усреднительный склад и укладывает ее горизонтальными слоями. Дополнительное усреднение осуществлялось при выемке сырья вертикальными стружками.

На отечественных карьерах промышленности строительных материалов применение рыхлителей носит эпизодический характер. Хотя только на карьерах промышленности нерудных строительных материалов РФ добывается не менее 40 млн м<sup>3</sup> карбонатных пород. Значительная часть карбонатных месторождений

Таблица 1

Способ разрушения	Оборудование	Тип забоя	Способ выемки	Совмещение процессов
Взрывной	Буровой станок, зарядная машина	Торец уступа	Валовой	Не совмещаются
Механический	Тракторный рыхлитель	Площадка уступа	Слоевой	Не совмещаются
Механический	Гидромолот	Площадка уступа	Слоевой	Не совмещаются
Механический	Экскаватор с зубом-рыхлителем	Торец уступа	Валовой	Не совмещаются
Механический	Мощный гидроэкскаватор, мехлопата с ковшом активного действия	Торец уступа	Валовой	Выемка и погрузка
Механический	Роторный экскаватор с высоким усилием копания	Торец уступа	Валовой, селективный	Выемка и погрузка
Механический	Карьерный комбайн	Площадка уступа	Слоевой	Выемка, погрузка, дробление

**Таблица 2**

Порода	Добыча за смену, куб. сажени/м <sup>3</sup>	Расход пороха, фунт
Гранит очень крепкий	0,25/2,4	1,6
Песчаник каменноугольный	0,4–0,6/3,8–5,8	3,7
Грубозернистый известняк	1,6/15,4	7,3
Мрамор	0,8/7,7	3,8
Гипс	2–2,5/19,2–24	4,9

сложена породами, характеристики которых изменяются по мощности и площади залежи. Селективная выемка таких пород позволяет значительно улучшить качество минеральной продукции и снизить потери минерального сырья.

Идея использования ударных механизмов была осуществлена также на экскаваторах. Уралмаш в 90-е гг. прошлого века изготовил шесть мехлопат ЭКГ-5В с ковшами активного действия емкостью 5 м<sup>3</sup>. На этих ковшах три из пяти зубьев представляли собой пневмомолоты. Для питания пневмомолотов сжатым воздухом на экскаваторе дополнительно установили компрессор. На семинаре представитель ООО «Уралмаш» **С.В. Мартьянов** рассказал о положительном опыте эксплуатации экскаваторов, указав, что завод готов продолжить выпуск экскаваторов ЭКГ-5В. Экскаваторы успешно работали на карьерах. Но время было трудным. Дорогие зубья-пневмомолоты изнашивались, после чего экскаваторы обрели стандартные ковши.

Необходимо отметить использование гидромолотов в качестве основного оборудования. Более 10 лет мощные гидромолоты используются в Скандинавских и некоторых других странах для рыхления даже прочных изверженных пород, в частности, на участках месторождений, где взрывные работы запрещены. Большинство специалистов признают, что механическое рыхление дороже взрывного. Однако использование механических способов рыхления массива позволяет продлить период функционирования предприятия, отсрочить вложение инвестиций в новое строительство.

Для разработки сравнительно непрочных пород находят применение роторные экскаваторы с высоким усилием копания. В последние годы в печати появляются лишь эпизодические примеры их использования. Так, разработка кимберлитов прочностью 30 МПа и более производилась на карьере «Удачный», Республика Саха-Якутия, добыча известняка (цементное сырье) прочностью 20 МПа в Германии.

Расширяется внедрение экскаваторов с гидроприводом при разработке скальных пород. Чтобы разрабатывать прочные породы, на мощных экскаваторах для увеличения удельного усилия копания устанавливаются ковши меньшей емкости. О таком опыте сообщил заместитель генерального директора ООО «МОГОРМАШ», канд. техн. наук **В.М. Штейнцвайг**. В качестве примера докладчик привел реконструированный карьер ОАО «Мордовцемент», который разрабатывает месторождение плотных мергелей.

Другой вариант использования экскаваторов с гидроприводом привел начальник отдела ООО «Цепелин Русланд» **И.В. Рубцов**. Это установка на экскаваторе зуба-рыхлителя, способного разрушать массив. После того как порода обрушена, зуб заменяется стандартным ковшом, и экскаватор производит выемку и погрузку разрыхленной горной массы.

Становятся популярными карьерные комбайны, которые пока не получили общепринятого названия. Их выпускает несколько крупнейших зарубежных машиностроительных фирм. Разнообразием отличаются и рабочие органы (режущие головки на штангах, цепи, ковши, фрезы) и компоновки. Забоем комбайнов является торец или площадка уступа. Наибольшее распространение получили комбайны, рабочим органом которых служит цилиндрическая фреза. Различные фирмы располагают фрезой в середине машины, между гусеницами, или спереди. Если фреза расположена в центре, затрудняется отработка торцевых частей заходки. Разработаны разнообразные технологические схемы, которые в некоторой степени позволяют решать технологические проблемы. О них говорилось в нескольких выступлениях. Например, профессор МГУ А.А. Грабский на основании теоретических исследований и промышленных экспериментов показал, что производительность карьерного комбайна с цилиндрической фрезой зависит от направлений вращения фрезы и движения комбайна. Он привел данные о значительных колебаниях производительности комбайнов в зависимости от климатических условий работы и прочности пород.

Об электрофизическом способе разрушения массива подробное сообщение сделал ведущий научный сотрудник ФГУП ННЦ ГП «Институт горного дела им. А.А. Сковинского» канд. техн. наук **В.Ф. Нистратов**.

Разработка скальных пород мехлопатами и роторными экскаваторами не вносит кардинальных изменений в технологию и организацию добычных работ. Исключение взрывных работ ограничивает высоту уступа – не более высоты черпания экскаватора, но позволяет сократить ширину рабочих площадок. Использование рыхлителей, гидромолотов и карьерных комбайнов, забоем которых служит площадка уступа, дает возможность разрабатывать тонкие слои, селективно вынимать разнородные породы, но, как правило, уменьшает угол откоса рабочего борта карьера. По данным проектов, выполненных ВНИПИИстромсырье, большая часть экономического эффекта от селективной выемки получается благодаря повышению сортности минерального сырья.

Технология горных работ, основанная на эксплуатации рыхлителей и гидромолотов, изучена недостаточно глубоко, а комбайнов – слабо. Не выработалось однозначного мнения даже о месте расположения фрезы комбайна – между гусеницами или спереди.

Для расчета параметров БВР разработаны нормативные документы. Эта область горного дела имеет вековые традиции (табл. 2). Созданы методики расчета параметров технологии с применением рыхлителей. Для других видов оборудования имеются отрывочные сведения, которые предоставляют фирмы-изготовители, и которые содержатся в редких публикациях об опыте их работы, а чаще опытно-промышленной эксплуатации.

Практикам-производственникам и проектировщикам, необходимы надежные данные, на основании которых можно выполнить расчеты и сопоставить варианты для условий конкретного месторождения. Но методики расчета производительности для разработки различных по прочности, блочности и абразивности пород для новых видов оборудования отсутствуют. Некоторые фирмы, например, «Виртген», ввели практику промышленных испытаний комбайнов перед принятием решения об их использовании на карьере.

Получается так, что технология и экономика базового варианта, в котором применяются буровзрывные работы, экскаваторы, самосвалы, рассчитываются по апробированным Нормам технологического проектирования, а альтернативного варианта – только по данным фирмы-производителя оборудования.

При сопоставлении вариантов одним из главных становится вопрос о производительности оборудования. Ведь ошибка в производительности отразится на себестоимости конечного продукта. При добросовестном сопоставлении реальных вариантов разница в стоимостных показателях более 15–20% встречается редко.

Выводы.

1. Буровзрывные технологии останутся в течение десятилетий основным способом подготовки скальных пород к выемке. Их совершенствование позволяет улучшать экономические показатели и сохранять конкурентоспособность.
2. Экономически рациональные области применения различных способов разрушения скальных пород не установлены. Не созданы методики, позволяющие сравнивать различные варианты. Существуют противоречивые, трудно сопоставимые оценки. Это тормозит распространение новых технологий.
3. Необходимо выполнить комплексное исследование по определению параметров систем разработки при использовании различных безвзрывных технологий, что позволит, в частности, обосновать технологические параметры карьерных комбайнов.

**Г.Р. Буткевич, канд. техн. наук, ФГУП «ВНИПИИстромсырье»**

А.Л. ЗЕМЛЯК, генеральный директор ООО «ЕвроДор» (Санкт-Петербург);  
 Н.Е. КОКОДЕЕВА, канд. техн. наук, Саратовский государственный технический университет (СГТУ);  
 М.В. СТЕПАНОВ, гл. инженер проекта, ООО «М-Дорсервис»;  
 А.В. КОЧЕТКОВ, д-р техн. наук, чл. Президиума Российской академии транспорта, зав. отделом ФГУП «РОСДОРНИИ» (Москва)

## Инновации в геоимплантатах: экопаркинги для мегаполисов

В настоящее время инновационным подходом к увеличению парковочных мест без нарушения экологии города можно считать **экологическую парковку**, представляющую собой встраиваемое или пристраиваемое техническое решение по временному размещению транспортных средств в полосе, примыкающей к автомобильной дороге, объекту транспортной инфраструктуры, придворовым территориям городов и промышленных зон.

ООО «Евродор» введен новый термин **экопаркинг** как разновидности экологической парковки, под которым необходимо понимать пластиковую газонную решетку в виде жестких полимерных лент, соединенных между собой в шахматном порядке наклонными или перпендикулярными к ребру полосы швами (работающими на изгиб с растяжением) черного, зеленого или другого цвета (рис. 1) [1].

Экопаркинг (ЭП) – новый предметный термин, на который заявляются авторские и смежные интеллектуальные права. ЭП – разновидность газонной решетки с толщиной стенки не менее 1,35–3 мм, высотой 50–100 мм и шириной ячейки 50–300 мм. Ноу-хау является разработка специальных методов монтажа на основе изгиба с растяжением ячеистой конструкции с учетом приращений относительных перемещений.

ЭП отличается от типовой конструкции экологической парковки, устраиваемой из квадратных или прямоугольных пластиковых элементов с ребрами жесткости.

Для создания ЭП применяют газонные решетки с маленькими ячейками, которые заполняют минеральным материалом требуемого гранулометрического состава (крупнозернистым песком, отсевом щебня, мелким щебнем).

Стандартное применение термина «геосинтетические материалы» для данной конструкции ЭП сужает эту предметную область, не отражает обобщающего методического подхода к геосинтетике как системе или комплексу со своими функциональными свойствами и связями, работающим в грунтовой или дорожно-мостовой конструкции.

Под определение материалы ЭП не могут попадать, так как это **геоимплантаты**, вполне естественный для применения предметный термин в области геосинтетике, это внедряемые, встраиваемые и пристраиваемые в конструкцию автомобильной дороги или участка дворовой территории материалы, изделия, конструкции, системы и комплексы.

Конструкция ЭП при любых погодных условиях надежно защищает газон от вытаптывания и нагрузок, оказываемых на него припаркованным или движущимся транспортом.

Основные преимущества ЭП:

- не боится больших нагрузок (до 12 т на м<sup>2</sup>);
- защищает почву от вымывания и эрозии;

- простота сборки – модули скрепляют на месте укладки, кладут на подготовленный грунт, заполняют минеральным материалом;

- в зависимости от технологических требований возможны различные варианты заполнения (грунт, разноцветный гравий и т. д.);

- срок эксплуатации ЭП при правильной укладке более 25 лет;

- материал, из которого сделаны ЭП, морозостоек, выдерживает перепады температуры, не разрушается под действием ультрафиолета;

- легок при погрузке и транспортировке;

- является экологичным решением для современного мегаполиса, так как через ЭП дождевая вода естественным образом фильтруется и попадает в грунт, обеспечивая его гидрогеологическое равновесие;

- безвреден для окружающей среды.

На этапе проектирования ЭП учитывают следующие их особенности. При нормальных условиях материал газонных решеток с точки зрения химической устойчивости инертен. Полимер не разлагается, не подвержен коррозии и не разъедается под действием химических или электрохимических реакций. С точки зрения морозостойкости ЭП рассчитаны на эксплуатацию до минус 50°С.

Большинство изменений формы ЭП связано с укладкой и воздействием на нее паркуемых транспортных средств. Деформации и нагрузки на конструкции ЭП различны в зависимости от подсыпки и нагрузок. Изменения формы после монтажа по указанным причинам продолжаются. Максимум величины деформации может быть достигнут через 1–3 года после монтажа. Это время зависит от материала засыпки и ее качества, а также от внешних нагрузок на ЭП. Допустимый предел деформации для ЭП составляет 5%.

Соединение ЭП производят с помощью анкеров. Для устройства ЭП предусмотрено два способа их опи-

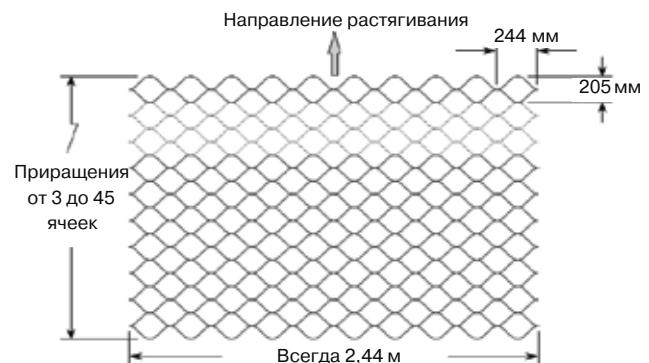


Рис. 1. Стандартная секция экопаркинга с маленькой ячейкой

рания на основание — плоское и спрофилированное, а также два типа по подготовке оснований:

- грунтовое выравнивание в песчаных грунтах, кроме гравелистых, с расчетным сопротивлением  $R_0$  не менее 0,1 МПа;

- песчаная подготовка толщиной 150 мм при устройстве ЭП в галечниковых песчаных грунтах, щебеньсодержащих, гравийно-галечниковых, скальных, обломочных, глинистых и т. п. грунтах с расчетным сопротивлением  $R_0$  не менее 0,1 МПа, а также на искусственном основании.

При устройстве ЭП в водонасыщенных грунтах с расчетным сопротивлением  $R_0$  не менее 0,1 МПа со слабой водоотдачей предусматривают искусственное бетонное или втрамбованное в грунт щебеночное основание с устройством песчаной подготовки.

При устройстве ЭП в грунтах с требуемым расчетным сопротивлением с возможной неравномерной осадкой может быть предусмотрено искусственное железобетонное основание.

При устройстве ЭП в слабых грунтах с расчетным сопротивлением ( $R_0$ ) не менее 0,1 МПа должны быть предусмотрены и осуществлены мероприятия, обеспечивающие несущую способность грунтов, соответствующую расчетному сопротивлению не менее 0,1 МПа (замена грунтов, применение геотекстиля, геосеток и т.п.).

В зависимости от требуемой несущей способности сформулированы следующие требования по виду и степени уплотнения грунта засыпки:

- засыпка местным грунтом с послойным разравниванием и уплотнением (степень уплотнения неконтролируемая);

- засыпка местным грунтом с послойным разравниванием и уплотнением повышенной степени, которая характеризуется удельной массой уплотненного грунта  $15 \text{ кН/м}^3$  — для песчаных грунтов и супесей и  $16 \text{ кН/м}^3$  — для суглинков и глин ( $K_{\text{упл}} \geq 0,92$ );

- засыпка песчаным грунтом с уплотнением до  $K_{\text{упл}} \geq 0,95$  (применение пылеватых песчаных грунтов не допускается).

Грунт засыпки не должен содержать твердых включений (комков, обломков строительных деталей, материалов и пр.) размером более 25 мм. Под местным грунтом подразумевают грунты, имеющиеся на стройплощадке (песчаные, глинистые, за исключением твердых глин, природные песчано-гравийные смеси без крупных включений). Методы засыпки и уплотнения грунтов засыпки, применяемые при этом механизмы должны обеспечивать сохранность ЭП, исключать возможность их смещения.

Земляные работы при строительстве экопаркингов следует производить с соблюдением требований СНиП 2.05.02–85, 3.06.03–85, 3.02.01–87, 3.05.04–85\*, 12.04–2002, СП 40–102–2000.



Конструкции ЭП изготавливают по полимерной технологии из полиэтилена высокой плотности или высокопрочного пластика с возможностью последующей вторичной переработки, с разными конструктивными решениями, отличающимися толщинами стенок и размерами ячеек.

В базовые композиции полимера на стадии изготовления могут быть добавлены красители и другие компоненты, придающие специфические свойства получаемым изделиям.

Выполняют ЭП из пластика высокой прочности (стоянки, парковки, дорожки различного назначения). Их использование позволяет армировать грунт, предотвращая его деформацию шинами автомобилей.

Перед устройством ЭП материалы (георешет ки) должны проходить контроль качества, включающий:

- проверку сопроводительной документации;
- тщательный осмотр (визуально);
- выборочное измерение параметров;
- проверку ЭП на соответствие стандарту организации;
- проверку материалов на соответствие техническим паспортам.

Основные положения монтажа ЭП заключаются в следующем.

- Центровка ЭП по вертикали и горизонтали на бровке траншеи либо непосредственно в траншее, если позволяет ширина по месту сборки.

- Устройство основания. При наличии твердых грунтов ЭП рекомендуется укладывать непосредственно на грунт, при мягких грунтах — на геотекстиль, укрепленный геосеткой. При необходимости для улучшения эксплуатационных качеств и предотвращения смешивания засыпки с базовым грунтом в основание укладывают фильтрующую ткань (геотекстиль).

Создание выравнивающего слоя толщиной не менее 100 мм. Необходимо проверить, чтобы по всей ширине выравнивающего слоя не было камней. Ширина его должна быть не менее чем на 400 мм шире ЭП, а уплотнение слоя должно производиться механически по всей ширине траншеи.

- Производить первичную засыпку ровными слоями по длине ЭП.

- Выполнять окончательную засыпку. Требования по окончательной засыпке различны для зон с транспортной нагрузкой и для зеленых зон. В зонах с транспортной нагрузкой материал окончательной засыпки должен быть пригоден к трамбованию. При этом можно использовать и выемный грунт, если по своим свойствам он пригоден для этих целей. Механическое уплотнение проводят послойно с применением уплотняющих средств виброударного или ударного действия.

Перед укладкой газонной решетки необходимо определить тип нагрузки. Для устройства небольшой парковки



**Рис. 2.** Внешний вид экопаркинга: а — испытание георешетки экопаркинга; б — окончательный вид экопаркинга

во дворе жилого дома или интенсивно эксплуатируемой стоянки возле супермаркета, где нередко останавливаются большие грузовые машины, выбирают разную толщину основания несущего слоя и степень его трамбовки.

На слой основания нужной толщины производят укладку геотекстиля — нетканого полотна из синтетических полимерных волокон, который способен пропускать воду и при этом препятствовать смешиванию слоев грунта и щебня. Его плотность должна составлять не менее 160 г/м<sup>2</sup>. Поверх геотекстиля насыпают смесь грунта и песка толщиной 3–5 см, на которую и устраивается ЭП.

Неправильный выбор типа решетки, например использование моделей, предназначенных для легковых автомобилей, для устройства парковки грузовиков, может привести к ее разрушению. Также обязательно наличие геотекстиля, в противном случае уже через несколько месяцев грунт начнет смешиваться со щебнем, приводя к заболачиванию территории.

**Установка ЭП** состоит из трех этапов:

- подготовка основания;
- непосредственно установка ЭП (газонной решетки);
- растяжение и анкерование ЭП в деформациях отнесенных перемещений;
- заполнение газонной решетки минеральным материалом (щебнем фракции до 25 мм, отсевом).

Пример испытания и конечного вида устроенного экопаркинга приведен на рис. 2.

В процессе обследования устроенного ЭП производят: осмотр внутренних и наружных (не закрытых грунтом) поверхностей ЭП; замеры величин зазоров между звеньями, взаимных вертикальных деформаций звеньев; выявление заносимости грунтом, просадки грунта; состояние растительного слоя; выявление признаков пучения грунта или наледообразования.

В процессе эксплуатации допускают деформации формы, не приводящие к образованию трещин или смятий.

При погрузке элементы ЭП нельзя ронять, бросать или перемещать волоком. Стропление должно быть равномерным. Рекомендуется использовать широкие ременные стропы. Использование для подъема тросов, цепей и т. п. исключается.

При транспортировке необходимо, чтобы кузов транспортного средства был ровным, без острых углов и выступов. Следует избегать скольжения и подвижек ЭП. Во избежание этого используют широкие крепежные ремни. ЭП не должны испытывать точечных или продольных нагрузок. Следует избегать соприкосновения изделий с маслами или дизельным топливом.

Партии поставок должны проходить приемочный контроль. Элементы ЭП штабелируют на выровненной площадке с прокладками между ними.

Техническим и социальным результатом применения ЭП является обеспечение временного паркования транспортных средств в придворовых территориях, у магазинов и офисов, объектах дорожной инфраструктуры, уменьшение вредного воздействия транспортных средств на окружающую среду.

**Ключевые слова:** экопаркинг, экологическая парковка, мегаполис, придворовая территория, дорожная инфраструктура.

**Литература**

1. СТО ООО «ЕвроДор» 94683376-2—2010 Рекомендации по применению экологических парковок транспортных средств (экопаркингов) / А.Л. Земляк, Н.Е. Кокоева, М.В. Степанов, А.В. Кочетков. СПб: ООО «ЕвроДор». 19 с.



**Активатор**  
измельчение активация синтез

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

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

*Результаты активации цемента и помола материалов - на нашем сайте.*

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

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



подготовка шихты для керамической плитки

помол пигментов

получение сухих смесей

активация цемента

смешение компонентов пенобетона

[>>](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

В.С. ПРОКОПЕЦ, д-р техн. наук, И.М. КАРАМЫШЕВ, инженер (it\_stroy@mail.ru),  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)

## Современные тенденции повышения качества и эффективности дорожных строительных материалов

Не секрет, что важнейшим компонентом асфальтобетонной смеси является минеральный порошок, без которого невозможно получить асфальтобетон, минимально отвечающий требованиям соответствующего ГОСТа. В то же время возросшая стоимость порошков вынуждает производителей к существенному снижению объемов выпуска качественного асфальтобетона с соответствующими последствиями.

Одним из путей решения проблемы является организация выпуска минеральных порошков непосредственно на АБЗ, используя для этого часть песчаной фракции минерального остова асфальтобетонной смеси, предварительно прошедшей через сушильный барабан и затем измельченной в мельнице дезинтеграторного типа. Данная технологическая схема (рис. 1), применительно к асфальтобетонному смесителю ДС-117-2Е, внедрена начиная с 1994 г. в восемнадцати хозяйствах РФ.

В табл. 1 приведены свойства минерального порошка, полученного из песка р. Иртыш в производственных условиях путем помола в измельчителе-активаторе с добавкой и без добавки в процессе измельчения 2% битума.

Видно также, что минеральный порошок, полученный из песка по механоактивационной технологии, отвечает всем требованиям ГОСТ 16557–78. При этом

установлено, что добавка битума способствует увеличению абразивной стойкости мелющих элементов на 22% и более.

Ниже приведены физико-механические показатели асфальтобетона типа Д с добавлением порошка из песка, перемолотого в активаторе:

$R_{сж}$ , МПа, при:	
20°C	4
50°C	1,8
0°C	8
Водонасыщение, об %	2,5
Набухание, об %	0
Коэффициент водостойкости после водонасыщения:	
кратковременного	1,1
длительного	0,9

Практика получения механоактивированного минерального порошка непосредственно на АБЗ показала, что экономическая эффективность данного способа составляет на тонну продукта порядка 280–360 р.

Решение проблемы утилизации кислых зол-уноса ТЭС заключается в использовании их в дорожном строительстве в качестве наполнителей для цементных систем, что позволит кроме всего прочего снизить стоимость цементобетонных материалов, изделий и конструкций. Однако при добавлении золы-уноса в вяжущее для сохранения его реакционной способности на прежнем уровне необходимо применение новых технологий, а не неэкономичной тепловой обработки.

Поэтому актуальной представляется проблема рассмотрения процесса механоактивации золоцементных смесей, позволяющего управлять качеством получаемого вяжущего.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили установить оптимальный режим механоактивации золоцементного вяжущего, при котором достигнута замена 40–50% цемента наполнителем без ощутимой при этом потери вяжущим первоначальной активности (рис. 2). Результаты экспериментальных исследований показывают, что эффект механоактивационной обработки в скоростных удар-

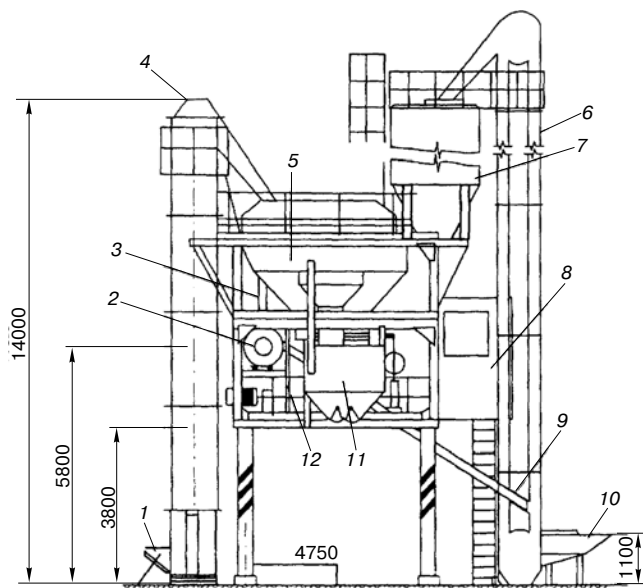


Рис. 1. Пример компоновки измельчителя УИС-2У в технологическую схему смесителя ДС-117-2Е: 1 – приемный лоток горячего элеватора; 2 – дезинтегратор (УИС-2У); 3 – патрубок подачи песка в дезинтегратор; 4 – элеватор горячих материалов; 5 – горячие бункеры; 6 – элеватор минерального порошка; 7 – агрегат минерального порошка; 8 – кабина управления; 9 – труба; 10 – приемный лоток для минерального порошка; 11 – бункер для негабаритного материала (щебня); 12 – стойки для крепления дезинтегратора

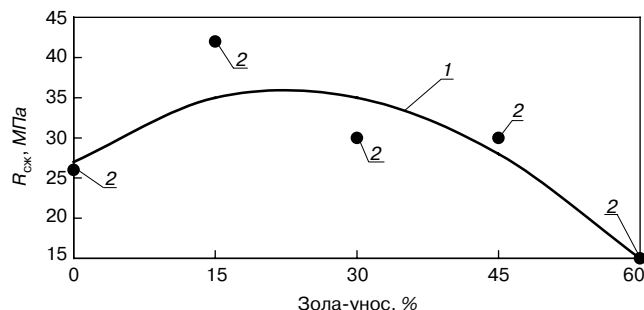


Рис. 2. Зависимость активности ( $R_{сж}$ , МПа) механоактивированного золоцементного вяжущего от процентного содержания золы: 1 –  $R_{сж} = -0,0156 \cdot y^4 + 7052 \cdot y^4 + 28,5112$ ; 2 –  $R_{сж(эксп)}$

Таблица 1

Показатели	Результат		Требования к МП (ГОСТ 16557-78)
	без добавки битума	с добавкой битума	
Зерновой состав, мас. %			
<1,25 мм	99,3	97,2	100
<0,315 мм	93	89	90
<0,071 мм	79,5	65,5	70
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2740	2640	–
Пористость, об %	32	28,6	не более 35
Показатель битумоемкости, г на 100 см <sup>3</sup> песка	62,5	48,6	не более 65

Таблица 2

Состав смеси	Свойства вяжущего						
	Температура размягчения, °С	Дуктильность смеси при T, °С, см		Пенетрация, 0,1 мм при температуре испытания, °С		Индекс пенетрации	Сцепление с минеральным наполнителем (по ГОСТ 22245-86), соответствие
		25	0	25	0		
Гудрон + РК	43	85	24	153	41	0	Образец № 2
Битум 130/200 (ГОСТ 22245-86)	Не ниже 39	Не менее		Не менее		1 - -1	Образец № 2
		65	6	130-200	35		

ных мельницах проявляется на всех без исключения изучаемых материалах (золах ТЭЦ, песок, цемент).

Динамика прочности механоактивированного вяжущего показывает, что оно обладает высокой прочностью, как ранней за счет более интенсивной гидратации клинкерных материалов, так и более поздней за счет активного участия золы в формировании структуры искусственного камня.

Исследования, выполненные на золах ТЭС Омска, позволили рекомендовать основные параметры обработки золоцементных материалов исходя из условия получения максимально прочного вяжущего и минимизации затрат энергии, а также установить численные значения основных физико-механических свойств золоцементного вяжущего, подтверждающие эффективность процесса механоактивации.

Представляет также интерес модификация органического вяжущего введением в битум механоактивированных добавок, например резиновой крошки.

Патентный анализ позволил выявить, на взгляд авторов, наиболее эффективный способ механического измельчения резин путем использования для этих целей дезинтеграторов, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с известными измельчающими устройствами.

В то же время многие виды резин не поддаются эффективному измельчению без охлаждения при использовании штатного комплекта пальцевых и лопастных роторов. В связи с этим были разработаны роторы особой ножевой конфигурации, позволяющей получать резиновые порошки высокой степени дисперсности.

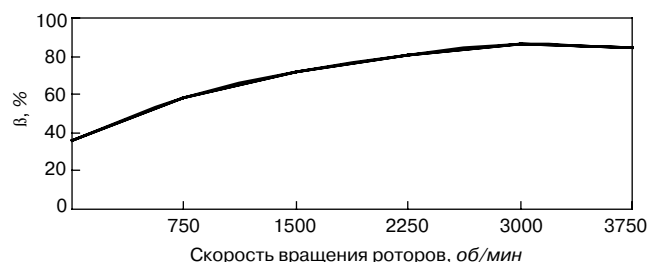


Рис. 3. Степень растворения резиновой крошки от интенсивности измельчения в дезинтеграторе

Зависимость степени растворимости (β) от интенсивности измельчения в дезинтеграторе определяли на резиновой крошке (отход ОШЗ) и на неокисленном нефтяном гудроне (продукт ОНПЗ).

Из данных, приведенных на рис. 3, видно, что степень растворения резины в нефтяном гудроне с увеличением скорости вращения роторов дезинтегратора увеличивается. При одинаковой температуре, времени термостатирования и концентрации скорость процесса вначале увеличивается почти пропорционально увеличению скорости вращения роторов. Увеличение скорости вращения роторов более 3000 об/мин приводит к замедлению роста содержания тонкодисперсной составляющей в процессе измельчения резиновой крошки, что уменьшает содержание свободных активных компонентов углеводородного сырья и приводит к снижению, а в дальнейшем и к затуханию растворения крошки в нефтяном гудроне.

Основные свойства полученного вяжущего приведены в табл. 2.

Изучение структурно-механических свойств бетонов на основе резинобитумного вяжущего и проведенные опытно-производственные работы показали, что добавление механоактивированной резины к органическому вяжущим позволяет:

- повысить водо- и морозостойкость, а также низкотемпературную трещиностойкость и высокотемпературную сдвигоустойчивость укрепленных грунтов и органоминеральных материалов;
- существенно снизить расход и стоимость органического вяжущего за счет его частичной замены на резиновую крошку, стоимость которой в 1,8–2,4 раза ниже стоимости битума;
- повысить эксплуатационные свойства покрытий автодорог и аэродромов.

Приведенные результаты свидетельствуют о высокой эффективности применения механоактивационной технологии в производстве дорожно-строительных материалов.

**Ключевые слова:** механоактивация, модификация, отходы промышленности, золы-уноса, органические вяжущие, смеси для дорожного строительства.

УДК 691.168

Э.В. КОТЛЯРСКИЙ, канд. техн. наук, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); А.М. ГРИДЧИН, д-р техн. наук, Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)

## Расчетно-экспериментальная оценка битумоемкости минеральных материалов для приготовления асфальтобетонных смесей

Традиционная методика определения оптимального количества битума в асфальтобетонных смесях предполагает изготовление не менее трех пробных замесов с различным количеством вяжущего и определение для каждого состава всех нормируемых показателей физико-механических свойств уплотненного асфальтобетона.

Методика расчета определения оптимального содержания битума в битумо-минеральных материалах по «битумоемкости» [1, 2] существенно сокращает время получения результата, близкого к оптимальному значению, практически исключает экспериментальную часть подбора составов асфальтобетонных смесей, позволяет оперативно корректировать составы смесей на предприятиях дорожно-строительной индустрии в процессе приготовления асфальтобетонов на основе материалов из различных сырьевых источников. Она неплохо зарекомендовала себя в производственных условиях и при проведении научно-исследовательских работ [3].

Было установлено, что расчеты, производимые по этой методике, в ряде случаев приводят к заниженным результатам. При дальнейшей экспериментальной проверке эти составы обычно обладают более высокими пористостью и водопоглощением, чем составы, подобранные экспериментально по стандартной методике пробным замесом.

Эксперименты, проведенные авторами в БГТУ им. В.Г. Шухова и в МАДИ, позволили установить, что основной причиной этого несоответствия является то, что, определение битумоемкости фракций различных по природе и генезису минеральных материалов, проводили с различными каменными материалами, используемыми для приготовления асфальтобетонных смесей, с размерами частиц 0,071–20 мм. [3].

Тонкодисперсный наполнитель (минеральный порошок), формирующий микроструктуру асфальтобетона, имеет частицы величиной до 1 мкм и менее. У этих

частиц самая развитая поверхность, обеспечивающая в асфальтобетоне физико-химическое взаимодействие с органическими вяжущими материалами.

Расчетное сравнение значений удельной поверхности минеральной части различных типов асфальтобетонных смесей, полученных по методике, показали, что при прочих равных условиях относительная доля поверхности минерального порошка (от общей удельной поверхности минеральных частиц) при учете дисперсности частиц мельче 71 мкм возрастает с 80–85% до 95–98%.

Проведению таких расчетов препятствует отсутствие сведений о битумоемкости тонкодисперсных частиц размером 1–71 мкм для различных минеральных материалов. Получить их экспериментальным путем не представляется возможным из-за отсутствия надежных методик, специальных приборов и оборудования.

Авторами было решено воспользоваться статистическими методами математического прогнозирования. В качестве исходной информации использовали значения битумоемкости, экспериментально полученные И.В. Королевым [1, 2] и А.М. Гридчиным [3].

При помощи корреляционного и регрессионного анализа построенных различных математических моделей на ЭВМ находили наиболее точное и адекватное аналитическое описание этой зависимости. Выражения, имеющие коэффициент корреляции менее 0,7, при дальнейшем анализе не рассматривали. Для различных каменных материалов были опробованы и проанализированы линейные, логарифмические, экспоненциальные, степенные, многочленные и более сложные математические модели.

В полулогарифмических координатах на ЭВМ для каждого материала были построены регрессионные модели, связывающие размеры минеральных частиц и показатели битумоемкости.

Анализ результатов расчетов позволил установить, что наименее точные результаты получаются при использо-

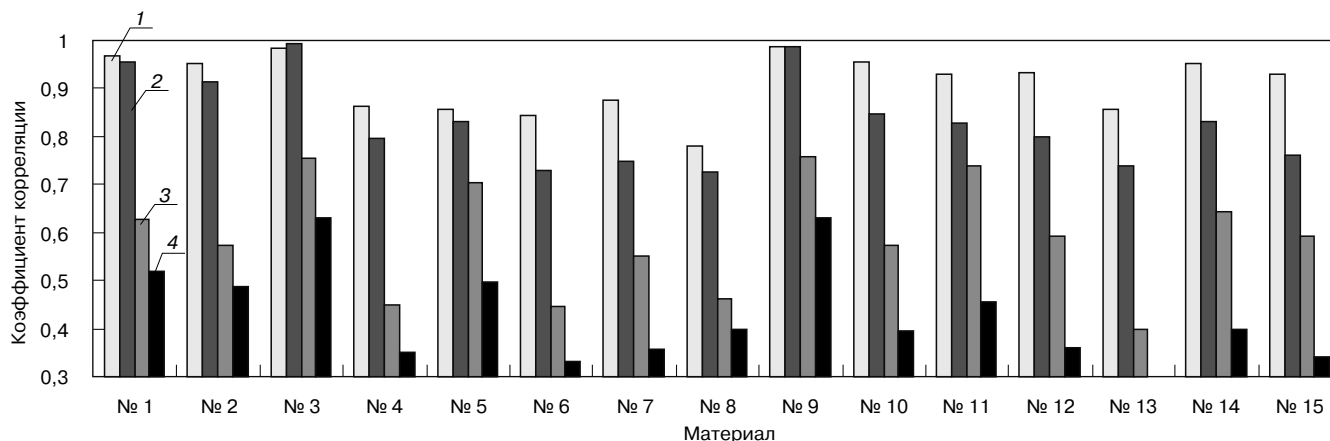


Рис. 1. Коэффициенты множественной корреляции регрессионных моделей, полученные для различных материалов: 1 – степенная; 2 – логарифмическая; 3 – экспоненциальная; 4 – линейная



Таблица 1

Регрессионная модель	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11	№ 12	№ 13	№ 14	№ 15
	Плотный известняк М-1000	Гранит М-1200	Диорит М-1200	Песчаник М-600	Известняк-ракушечник М-400	Кварцевый песок	Доломитовая пыль обожженная	Металлургический шлак М-1000	Металлургический шлак основной с продуктами силикатного распада М-600	Сталеплавильный шлак кислый М-1000	Диорит М	Малорудный кварцит	Кристаллические сланцы	Гравиеподобный	Известняковый
Степенная	0,969	0,953	0,985	0,864	0,856	0,843	0,877	0,779	0,987	0,955	0,931	0,933	0,858	0,954	0,931
Логарифмическая	0,956	0,915	0,995	0,797	0,831	0,729	0,75	0,726	0,987	0,848	0,829	0,801	0,74	0,83	0,761
Экспоненциальная	0,629	0,575	0,755	0,449	0,704	0,448	0,552	0,464	0,757	0,574	0,739	0,592	0,399	0,643	0,592
Линейная	0,52	0,489	0,63	0,351	0,497	0,332	0,358	0,399	0,632	0,395	0,455	0,359	0,278	0,4	0,342

вании линейной и логарифмической зависимостей, наиболее точные – у многочленов 4-го и более высоких порядков. Степенная зависимость позволила получить для разных материалов различной природы, минералогии и петрографии в широком диапазоне дисперсности минеральных частиц, коэффициенты корреляции 0,27–0,99.

При этом учитывалась и вероятная метрологическая погрешность опытов, проведенных И.В. Королевым [2, 3] и А.М. Гридчиным.

Полученные коэффициенты множественной корреляции регрессионных моделей для различных материалов и приведенные в табл.1 и на рис.1 показывают, что зависимость, наиболее точно и адекватно описывающая

изменение битумоемкости различных материалов, имеет общий вид:

$$B_i = b_0 \cdot d^{b_1}, \quad (1)$$

где:  $B_i$  – битумоемкость фракции;  $d$  – размер частиц материала, мм;  $b_0$  и  $b_1$  – коэффициенты регрессии.

Коэффициент множественной корреляции для различных каменных материалов составил 0,86–0,98.

В табл. 2 и на рис. 2 приведены результаты расчетного определения битумоемкости с прогнозом значений для тонкодисперсных частиц.

Установлено, что материалы, полученные из изверженных горных пород и техногенных отходов, имеющих

Таблица 2

Размеры частиц, мм	Наименование материала									
	Плотный известняк М-1000 (№ 1)	Гранит М-1200 (№ 2)	Диорит М-1200 (№ 3)	Песчаник М-600 (№ 4)	Известняк-ракушечник М-400 (№ 5)					
25		2,2		4,02		2,96		3,39		2,95
15		2,5		4,23		3,26		3,64	2,5	3,21
10	2,9	2,7	4,5	4,41	3,3	3,51	4	3,84	3,9	3,43
5	3	3,2	4,7	4,73	4	4	4,5	4,22	4,6	3,85
2,5	3,2	3,7	5,2	5,08	4,5	4,55	4,8	4,64	4,9	4,32
1,25	4,6	4,3	5,6	5,45	5,6	5,18	5	5,09	4,9	4,85
0,63	5,3	5	5,7	5,84	5,9	5,88	5,2	5,59	5	5,43
0,315	6	5,8	5,9	6,27	7	6,69	5,4	6,14	5,4	6,1
0,14	7	6,9	6,4	6,81	7,9	7,78	5,8	6,85	6,2	6,98
0,071	7,3	8,7	7,4	7,3	8,7	8,83	8,5	7,51	7,7	7,81
0,036	9,4	9,2	8,4	7,8	9,5	10	9,3	8,2	10,1	8,7
0,018		10,7		8,4		11,4		9,1		9,8
0,009		12,5		9		13		9,9		11
0,005		14,2		9,6		14,5		10,8		12,2
0,002		17,3		10,5		17,2		12,2		14,2
0,001		20,1		11,3		19,5		13,4		15,9
0,001		23,3		12,1		22,2		14,7		17,8

Размеры частиц, мм	Наименование материала									
	Кварцевый песок № 6		Доломитовая пыль обожженная № 7		Металлургический шлак М-1000 № 8		Металлургический шлак основной с продуктами силикатного распада М-600 № 9		Сталеплавильный шлак кислый М-1000 № 10	
25								4,6		4,6
15								5,1		5,1
10		2,9		11,9	4	4,2	5,6	5,5	5,6	5,5
5		3,6		12,9	4,8	4,7	6,1	6,2	6,1	6,2
2,5	2,9	4,4		14,1	5,4	5,3	7,2	7	7,2	7
1,25	4,3	5,5	13,5	15,3	6,2	5,9	7,8	7,9	7,8	7,9
0,63	4,5	6,8	14,3	16,6	6,8	6,6	9,3	9	9,3	9
0,315	4,5	8,5	15,2	18	7,5	7,4	10,5	10,2	10,5	10,2
0,14	5,4	11	15,6	19,8	8,1	8,4	11,2	11,8	11,2	11,8
0,071	8,1	13,6	16	21,5	9	9,3	12	13,3	12	13,3
0,036	14	16,8	22,5	23,3	10,4	10,4	13,5	15,1	13,5	15,1
0,018		20,9		25,4		11,6	20,5	17,1	20,5	17,1
0,009		26		27,6		12,9		19,3		19,3
0,005		31,3		29,6		14,2		21,5		21,5
0,002		41,8		33		16,4		25,3		25,3
0,001		52		35,8		18,3		28,7		28,7
<0,001		64,7		38,9		20,4		32,5		32,5

более высокую плотность и прочность (диорит М-1200, плотный известняк М-1000, металлургические шлаки М-600-1000), гранит М-1200, имеют коэффициент корреляции не менее 0,95.

Материалы осадочного происхождения с пористой структурой показали корреляцию 0,85–0,88. Из опыта применения в асфальтобетонных смесях, эти материалы проявляют с битумом хорошие адгезионные свойства.

По полученным математическим выражениям расчетным путем был произведен прогноз битумоемкости различных материалов, применяемых в асфальтобетоне в качестве тонкодисперсных заполнителей, для частиц размером от 1 мкм до 40 мкм.

При сравнении расчетных и экспериментальных значений битумоемкости для различных материалов наибольшие абсолютные и относительные отклонения наблюдаются для частиц менее 0,071 мкм. Это объясняется тем, что И.В. Королев не дифференцировал значения показателя битумоемкости для более мелких частиц и экспериментально найденные им значения являются интегральной характеристикой для всего высокодисперсного диапазона таких частиц.

В последние годы появилось много алгоритмов и программ, позволяющих с использованием ЭВМ быстро и надежно производить проектирование зернового состава асфальтобетонных смесей.

Тонкость помола минерального порошка существенно влияет на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей. В разные годы установлено, что минеральный порошок выполняет в асфальтобетоне три основные функции:

1. Является тонкодисперсным наполнителем [2], заполняющим микропустоты и повышающим плотность минерального остова асфальтобетона.
2. В силу развитой поверхности (90–98% от общей поверхности минеральных частиц, входящих в состав асфальтобетона) порошок, образуя асфальтовязу-

щее вещество, способствует формированию структурированной дисперсной системы [4, 5, 6].

3. Высокодисперсные минеральные частицы высокодисперсного наполнителя, взаимодействуя по слоикам, переводят асфальтобетон в структурированное состояние — из «объемного — в пленочное» [6, 7]. Дисперсность минерального порошка характеризуется его зерновым составом или удельной поверхностью.

Гранулометрический состав порошка определяется ситовым или седиментационным методом. Первый прост в реализации и включен в большинство нормативных документов. Основной его недостаток — невозможность оценить соотношение по массе частиц менее 71 мкм. Второй метод требует использования более сложного лабораторного оборудования и привлечения специалистов высокой квалификации, менее производителен, что не позволяет рекомендовать его для массового применения в строительных лабораториях.

Существует ряд методов определения удельной поверхности твердых дисперсных материалов, основанных на воздухо- и водопроницаемости, адсорбции масла, адсорбции красителей, а также различные расчетные методы [2]. Экспериментальные методики имеют те же недостатки, что и седиментационный метод определения гранулометрического состава. Расчетные методы отличаются неопределенностью, связанной с оценкой плотности зерен и формы минеральных частиц различного размера, петрографическими и минералогическими особенностями исходной горной породы.

Методика определения зернового состава минерального порошка для асфальтобетонных смесей (ГОСТ 12784) предусматривает использование ситового метода для количественной оценки соотношения частиц 2,5–0,071 мм по массе. Одним из основных критериев является количество частиц мельче 0,071 мм (ГОСТ 16557).

Для практической реализации методики И.В. Королева необходима полная кривая зернового состава порошков, включая частицы до 1 мкм и менее.

Размеры частиц, мм	Наименование материала									
	Диорит № 11		Малорудный кварцит № 12		Кристаллические сланцы № 13		Гравиеподобный № 14		Известняковый № 15	
25		2,5		2,2		3,1		2,20		2,25
15		2,9		2,5		3,4		2,51		2,58
10	2,8	3,2	2,6	2,8	4,1	3,7	2,7	2,8	3	2,87
5	3,8	3,9	3,8	3,3	4,8	4,3	3,5	3,36	3,2	3,46
2,5	5,6	4,6	4,3	3,9	5	4,9	4,1	4,04	4,6	4,17
1,25	5,9	5,5	4,5	4,6	5,2	5,6	5,7	4,85	5,3	5,02
0,63	7	6,6	4,9	5,5	5,4	6,3	5,2	5,82	6	6,03
0,315	7,9	7,9	5,6	6,5	5,8	7,3	6,6	6,99	7	7,25
0,14	8,7	9,8	7,5	8	8,3	8,5	8,1	8,67	7,3	9,01
0,071	9,5	11,6	8,7	9,4	9,2	9,7	9,1	10,4	9,4	10,8
0,036	16,5	13,9	14	11,2	14,5	11	15	12,4	17	13
0,018		16,6		13,3		12,6		14,9		15,6
0,009		19,9		15,8		14,4		17,9		18,8
0,005		23,2		18,3		16,1		20,9		22
0,002		29,4		22,9		19,2		26,7		28,1
0,001		35,1		27,2		21,9		32,1		33,8
<0,001		42,1		32,4		25		38,5		40,7

Примечание к табл. 2. – в колонке 1 – экспериментально полученные значения частных остатков, в колонке 2 – расчетные значения.

Авторами выдвинуто предположение, что полная кривая зернового состава тонкодисперсного наполнителя может быть описана математическим выражением. Для проверки использованы экспериментальные данные, полученные И.И. Додхоевым (МХТИ им. Менделеева) (табл. 3, рис. 2).

Математической обработкой этих экспериментальных данных получены уравнения, описывающие изменения зернового состава известнякового минерального порошка, порландцемента и шлакопортландцемента. Наиболее точно и адекватно изменение гранулометрического состава тонкодисперсных материалов описываются полиномом 2-ой степени. Коэффициент множественной корреляции при этом составляет 0,97–0,98.

Это позволило предположить, что изменение зернового состава любого тонкодисперсного минерального порошка также подчиняется полученной закономерности в широком диапазоне дисперсности частиц.

МАДИ апробирована расчетно-экспериментальная методика определения зернового состава порошка. В соответствии с ней на первом этапе определяется зерновой состав по ГОСТ 12784. Полученные экспериментальные результаты аппроксимируют при помощи ЭВМ до размеров 0,001 мм и менее. Для этого используется математический аппарат с применением корреляционного и регрессионного анализов, что позволяет получить математическое описание и произвести оценку статистической надежности полученных математических выражений как экспериментальной части кривой, так и

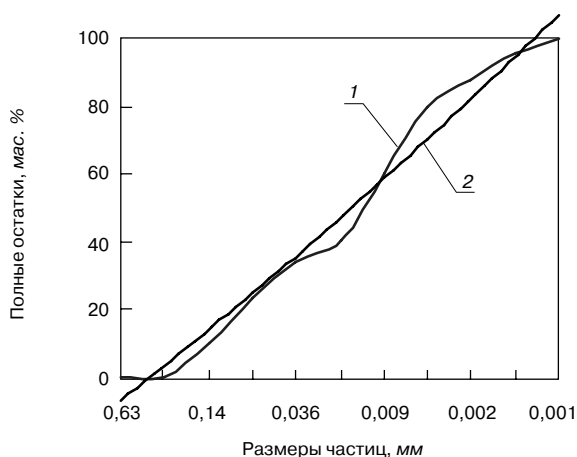


Рис. 2. Экспериментальные кривые зернового состава тонкодисперсных наполнителей и их математическое описание (по данным И.И. Додхоева): 1 – график построен по экспериментальным данным; 2 – по приведенной формуле для минерального порошка:  $y=0,1238x^2+9,9125x-16,874$ ,  $R^2=0,9802$ , где R – коэффициент корреляции

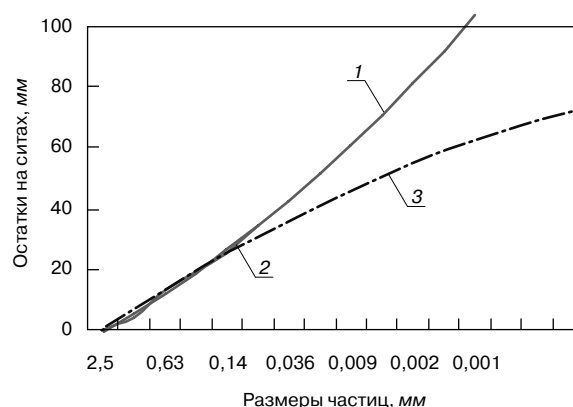


Рис. 3. Сравнение экспериментальных и расчетных значений зернового состава порошка асфальтобетонного завода № 1, ОАО АБЗ 1 (Москва): 1 – график, построенный по расчетным значениям; 2 – по экспериментально полученным данным; 3 – в соответствии с требованиями стандарта

Таблица 3

Размер частиц, мм ( $d_i$ )	Остатки, мас. %					Абс. ошибка	Значения
	Полные ( $A_i$ )	Частные ( $A_i$ )	Треб. ГОСТ	Расчетные значения			
				полные ( $A_i^{расч.}$ )	частные ( $a_i^{расч.}$ )		
2,5	0	0	0	0	0	0	Экспериментальные
1,25	4	4	5	5	5	-1	
0,63	13	9	12	12	7	2	
0,315	19	6	20	19	7	-1	
0,14	25	6	25	26	7	-1	
0,071	34	9	30	34	8	1	
0,036				43	9		Расчетные
0,018				52	9		
0,009				61	9		
0,005				71	10		
0,002				81	10		
0,001				92	11		
< 0,001				100	8		

ее прогнозируемой части, а также статистические характеристики, позволяющие оценить точность и адекватность прогноза. По полученному математическому выражению рассчитывают значения полных, а затем частных остатков частиц минерального порошка 2,5–0,001 мм и менее. Расчетные значения сравнивают с экспериментально полученными ранее для грубодисперсных частиц, после чего оценивают ошибку прогноза по каждой фракции. При апробации методики в расчетах использовали линейные, логарифмические, экспоненциальные, совмещенные, многочленные второго и более высоких порядков регрессионные математические модели. При обработке экспериментальных результатов И.И. Додхоева удовлетворительную точность и адекватность показал полный полином 2-й степени (рис. 1).

Лабораторные испытания и обработка результатов, произведенная по предлагаемой методике, подтвердили, что удовлетворительная точность и адекватность для реальных минеральных порошков могут быть получены при описании зернового состава минеральных порошков регрессионной моделью в виде многочлена второго порядка (табл. 3, рис. 2).

На рис. 3 показан зерновой состав 10 случайных неактивированных минеральных порошков, используемых на асфальтобетонных заводах Москвы, полученных по предлагаемой расчетно-экспериментальной методике.

Данные значения были использованы для расчета удельной поверхности минеральной части асфальтобетонной смеси.

Это позволило:

- более точно определить долю поверхности минерального порошка от общей удельной поверхности минеральной части асфальтобетонных смесей;

- определять по методике профессора И.В. Королева оптимальное содержание битума по битумоемкости фракций 2,5–0,001 мм включительно;

- количественно оценить параметры структуры асфальтобетона (среднее число контактов между частицами в единице объема, геометрические размеры единичного контакта, среднюю силу сцепления в контакте между частицами, среднюю прочность единичного контакта), и объяснить изменение этих критериев на различных этапах формирования и разрушения асфальтобетонной смеси и асфальтобетона: на технологической

стадии при перемешивании, транспортировании, укладке и уплотнении; на эксплуатационной стадии при разрушении материала под действием различных эксплуатационных факторов.

Предлагаемая методика позволяет более точно расчетным путем определять оптимальное содержание битума в асфальтобетонной смеси. Она хорошо вписывается в методику проектирования асфальтобетонных смесей, по предельным расчетным кривым, принятым в России и странах СНГ, увеличивая надежность расчетов и многократно повышая производительность труда сотрудников дорожно-строительных лабораторий.

Экспериментальная проверка показала, что предлагаемая расчетная методика позволяет получить результаты определения оптимального содержания битума в асфальтобетонных смесях с высокой сходимостью с лабораторным, рекомендованным стандартом способом.

**Ключевые слова:** асфальтовый бетон, битумоемкость, прогноз дисперсности, проектирование составов, оптимальное содержание битумов.

**Список литературы**

1. Королев И.В. Дорожный теплый асфальтобетон. Киев: Вища школа, 1977. 155 с.
2. Королев И.В. Пути экономии битума в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1986. 149 с.
3. Гридчин А.М. Повышение эффективности дорожного строительства путем использования анизотропного сырья. М: АСВ, 2006. 486 с.
4. Гезенцевей Л.Б., Горельшев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В. Дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1985. 385 с.
5. Соломатин В.И., Селятин В.П. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. М.: Стройиздат, 1987. 264 с.
6. Шальт С.Я., Михайлов Н.В., Ребиндер П.А. Влияние активного наполнителя и растворителя на свойства битумов // Коллоидный журнал, 1987. № 2. Т. 19. С. 244–251.
7. Котлярский Э.В. Строительно-технические свойства дорожного асфальтового бетона. М.: ООО «Техполиграфцентр», 2004. 194 с.

В.А. ОСИНОВСКАЯ, канд. техн. наук (onika44@mail.ru), Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

## Динамика грунта земляного полотна при вибрационном нагружении дорожной конструкции

Работоспособность и долговечность дорожных конструкций во многом зависят от прочностных показателей грунтов земляного полотна. Эти показатели чувствительны к природно-климатическим воздействиям. Именно поэтому при проектировании дорожных одежд расчеты ведутся для наиболее опасного весеннего периода эксплуатации, когда происходит оттаивание грунтов и их перенасыщение влагой.

Дорожная наука накопила достаточно обширный материал теоретических, статистических и экспериментальных исследований грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Но в этом материале недостаточно глубоко рассмотрены вопросы поведения грунтов при их вибрационном нагружении. Под таким нагружением понимают вынужденные или свободные колебания грунтовых масс.

Рассматривая вынужденные колебания, отметим, что в зависимости от частоты возмущения вибрация грунтов может быть как вредной, так и полезной. Полезные свойства вибрации давно используют в дорожном хозяйстве для вибрационного уплотнения дорожно-строительных материалов при строительстве автомобильных дорог. При изменении частотного диапазона вибрация может вызвать обратный эффект. Например, для разрыхления смерзшихся сыпучих грузов на железнодорожном транспорте применяют специальные виброустановки.

Вопрос о воздействии свободных колебаний дорожной одежды на грунты до сих пор не исследован. Проблема состоит в том, что до недавнего времени считалось,

что дорожные конструкции подвергаются только динамическому воздействию колеблющихся масс движущихся автомобилей. Утверждали, что колебания самих дорожных конструкций либо отсутствуют, либо крайне незначительны.

Однако исследования, выполненные в МАДИ, показали, что при воздействии автомобилей на покрытие дорожных одежд и грунт земляного полотна в основном формируются процессы свободных колебаний. Деформационный уровень таких колебаний приводит к преждевременному разрушению дорожных одежд. Как эта вибрация влияет на прочностные показатели грунтов, какие параметры грунтов необходимо формировать для снижения вибронатурженности – это ближайшие задачи, стоящие перед наукой в области устройства дорожных покрытий.

Выполненные автором расчеты позволили установить, что изменение толщин грунта земляного полотна почти не влияет на колебания общей динамической системы: слой дорожной одежды – грунт. В таблице представлен уровень средних динамических сил, который реализуется в слоях дорожной одежды при учете параметров грунта земляного полотна.

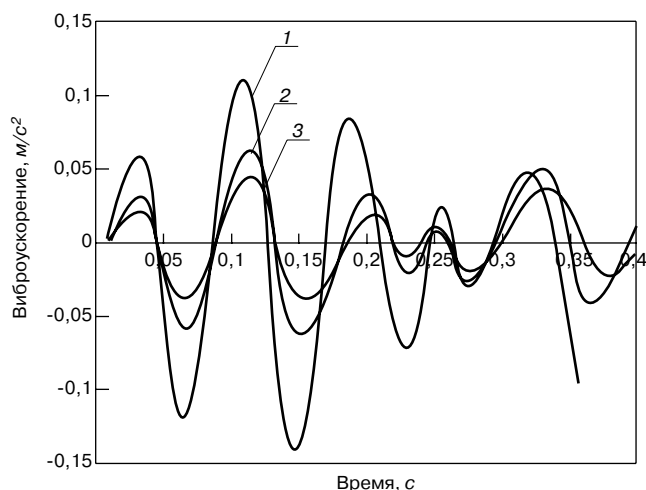
Из таблицы следует, что при изменении толщины грунта земляного полотна от 0,5 до 1,5 м динамические силы во всех слоях дорожной одежды практически не меняются. Динамические силы в грунте изменяются незначительно, хотя с ростом его толщин их инерционность возрастает в 2–2,5 раза.

На рисунке показаны расчетные амплитудно-временные характеристики (АВХ) грунта земляного полотна для различных его толщин. В качестве динамического показателя использованы виброускорения массы грунта, формирующиеся при возбуждении колебаний дорожной одежды за счет прогиба верхнего асфальтобетонного слоя покрытия под движущимся колесом автомобиля.

Из АВХ следует:

- с ростом толщины грунта земляного полотна виброускорения снижаются почти пропорционально увеличению толщины, что обеспечивает сохранение уровня динамических сил (таблица);

- основной частотный спектр свободных колебаний грунта изменяется в очень малом диапазоне; замер периодов колебаний ( $T_i$ ) на основании АВХ позволяет определить численные значения частот, как зависимость  $f_i = 1/T_i$ , Гц, при которой при толщине грунта  $h = 0,5$  м  $f = 12,5–13,9$  Гц; при  $h = 1$  м  $f = 11,9–12,23$  Гц и при  $h = 1,5$  м  $f = 11–12,08$  Гц, т. е. в среднем частота колебаний грунтов при исследованных толщинах составляет 12 Гц;



Амплитудно-временные характеристики грунта земляного полотна для различных толщин: 1 – 0,5 м; 2 – 1 м; 3 – 1,5 м

Толщина грунта земляного полотна, м	Средние динамические силы в слоях, кН					
	Асфальтобетон плотный	Асфальтобетон пористый	Щебень, пропитанный битумом	Щебень фракционированный	Песок	Грунт земляного полотна
0,5	4,07333	6,24937	3,93477	1,71097	1,13639	0,61825
1	4,07545	6,24948	3,97793	1,64533	1,12501	0,72195
1,5	4,07378	6,24941	3,98343	1,64504	1,13544	0,73327

— в общем колебательном спектре грунтов присутствуют также частоты, связанные с парциальными частотами колебаний подстилающего слоя песка и слоев щебеночного основания, а именно частоты в диапазоне 18,8–20,4 Гц; парциальные частоты асфальтобетонного покрытия на процесс колебаний грунтов влияния не оказывают и поэтому в виброспектре не наблюдаются (это утверждение не относится к процессам передачи колебаний через грунты).

Таким образом, увеличение толщин грунта земляного полотна, ведущее к повышению общей прочности дорожной конструкции, не ведет к росту динамических сил в грунте при вибрационном нагружении этих конструкций. Наличие в спектре грунта земляного полотна частот слоев щебеночного основания можно не учитывать, так как уровни ускорений, а значит динамических сил на этих частотах крайне малы. Установленная основная частота колебаний грунта 12 Гц позволит разработать мероприятия по его виброзащите. Например, колебания на этой частоте эффективно поглощаются введением между дорожной одеждой и грунтом прослойки из синтетических материалов. Следует также отметить, что полученные расчетные частотные показатели полностью соответствуют показателям экспериментальных АВХ [1].

**Ключевые слова:** грунт земляного полотна, вибрация, свободные колебания.

#### Литература

1. Илиополов С.К., Углова Е.В. Оценка усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий в реальных условиях эксплуатации // Автомобильные дороги. 2006. № 9. С. 102–104.

РОССИЯ, НИЖНИЙ НОВГОРОД. Всероссийское ЗАО "НИЖЕГОРОДСКАЯ ЯРМАКА"

# А РОССИЙСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

- АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО (ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION)
- ГОРОДСКОЕ ХОЗЯЙСТВО (CITY MANAGEMENT)
- ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО (COMMUNAL SERVICES)
- СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ, ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ (HEATING, WATER SUPPLY, VENTILATION)
- ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ (ELECTRICAL AND LIGHTING)
- КЛИМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (CLIMATE CONTROL)
- ОКНА И ДВЕРИ (WINDOWS AND DOORS)
- САНИТЕХНИКА, КЕРАМИКА, КАМЕНЬ (SANITARY CERAMICS, STONE)
- ИНТЕРЬЕР, ДИЗАЙН, ОТДЕЛКА (INTERIOR DESIGN, FINISHING)
- СИСТЕМЫ ОХРАНЫ И ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ (SECURITY AND FIRE PROTECTION)
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ИНСТРУМЕНТЫ (CONSTRUCTION MACHINERY AND TOOLS)
- ЛАНДШАФТ И УСАДЬБА (LANDSCAPE AND GARDENING)
- ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ (CONSTRUCTION INFORMATION TECHNOLOGY)

Исполнительная дирекция форума:  
460085, Нижний Новгород, Советское шоссе, 13.  
Галерея № 300/831) 277-55-91, 277-55-59, 277-55-87  
Факс № 300/831) 277-55-53, 277-55-74  
E-mail: tikhonov@yarmarka.ru  
yuzarova@yarmarka.ru  
http://www.yarmarka.ru

**17-20 МАЯ 2011 ГОДА**

XVI МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

# ВОЛГАСТРОЙЭКСПО

26-29 АПРЕЛЯ 2011 КАЗАНЬ

Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8, Выставочный центр "Казанская ярмарка"  
тел./ факс: (843) 570-51-27, 570-51-11, e-mail: d1@expokazan.ru, www.volgastroeyexpo.ru, www.expokazan.ru

ufi Approved Event

КАЗАНСКАЯ ЯРМАКА

Г.И. ЯКОВЛЕВ, Г.Н. ПЕРВУШИН, доктора техн. наук, Ижевский государственный технический университет; А. КОРЖЕНКО, канд. техн. наук, Groupement de Recherches de Lacq, Corporation «Arkema» (Франция); А.Ф. БУРЬЯНОВ, канд. техн. наук (gips@rescom.ru), Московский государственный строительный университет; И.А. ПУДОВ, инженер, А.А. ЛУШНИКОВА, бакалавр, Ижевский государственный технический университет

## Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками

Стоимость композиционных материалов строительного назначения в основном определяется стоимостью вяжущего, в то же время применяемые вяжущие имеют огромный потенциал в повышении механических характеристик за счет направленного изменения структуры матрицы при модификации протяженными углеродными наносистемами. При разработке цементных бетонов с улучшенными механическими свойствами рационально использование в качестве модифицирующих добавок углеродных нанодисперсных систем [1, 2]. Установлено [3–5], что введение углеродных наносистем в состав минеральных вяжущих матриц приводит к их структурированию с формированием кристаллогидратных новообразований повышенной плотности и прочности.

Основной целью работы стало установление возможности модификации структуры плотного цементного бетона нанодисперсной добавкой в виде многослойных углеродных нанотрубок Graphistrength™ корпорации «Arkema» и влияние их на структуру, минералогический состав и свойства модифицированной цементной матрицы.

В технической литературе отмечается [6, 7], что модификация углеродными нанотрубками приводит к улучшению механических показателей цементных бетонов на 15–20 %. В то же время имеются исследования, в которых показано, что минеральные матрицы способны повысить свою прочность до 2–3 раз [8] при введении в состав вяжущего углеродных наносистем в пределах 0,0024 % от массы вяжущего. В работах [9, 10] отмечается, что углеродные нанотрубки способны изменять микроструктуру матрицы за счет увеличения содержания гидросиликатов кальция повышенной плотности и снижения нанопористости.

Основной причиной несоответствия результатов у разных исследователей является недостаточная степень диспергации углеродных нанотрубок, так как изначально в силу повышенной активности при синтезе они сворачиваются в гранулы. Известна работа [11], в которой для диспергации углеродных нанотрубок использована ультразвуковая техника в среде этанола. G.Y. Li и др. [12] использовали обработку ультразвуком многослойных углеродных нанотрубок в растворе серной и азотной кислот для обеспечения лучшего сцепления между цементной матрицей. В работе [13] для достижения однородной дисперсии многослойных углеродных нанотрубок в водном растворе использовались полиакриловые кислоты и ультразвук. Но практически во всех работах отмечалось незначительное увеличение механической прочности цементной матрицы, модифицированной углеродными нанотрубками.

Основной причиной недостаточного влияния наносистем на структуру и свойства модифицируемой цементной матрицы является неполная диспергация угле-

родных нанотрубок. При синтезе они объединяются в клубки или гранулы, размеры которых могут достигать 400–900 мкм [8], обладая при этом высокой поверхностной энергией. При этом наночастицы трудно распределяются на единичные наноструктуры в водной дисперсионной среде и требуют специальных технологий по их диспергации. Главная задача при работе с углеродными нанотрубками – дезинтеграция пучков и крупных агломератов, возникающих при синтезе, и обеспечение их стабилизации в водной суспензии и устойчивости суспензий нанотрубок при хранении.

Для стабилизации суспензий с наноструктурами используются различные поверхностно-активные вещества (сурфактанты) [14], молекулы которых адсорбируются на межфазной границе твердое тело – жидкость, окружая отдельные нанотрубки и их пучки. При адсорбции ПАВ на поверхности нанодисперсных частиц поверхностное натяжение уменьшается. Чем плотнее упаковка ПАВ на поверхности, тем больше снижение поверхностного натяжения [15, 16].

Диспергации подвергались многослойные углеродные нанотрубки Graphistrength™, которые состоят из нескольких слоев нанотрубок с внешним диаметром 10–15 нм, длиной 1–15 мкм и средней плотностью 50–150 кг/м<sup>3</sup>.

Благодаря диспергации углеродных наносистем в гидродинамической установке были получены углеродные наносистемы с эффективным диаметром в 168,3 нм и наименьшим значением диаметра в 73,3 нм.

В суспензиях неизбежны процессы седиментации из-за разности плотностей дисперсионной среды и дисперсной фазы. Со временем частицы твердой фазы агрегируют и оседают. После выдержки суспензии в течение 30 сут в результате коагуляции эффективный диаметр наносистем составил 403,7 нм. Седиментация является обратимой.

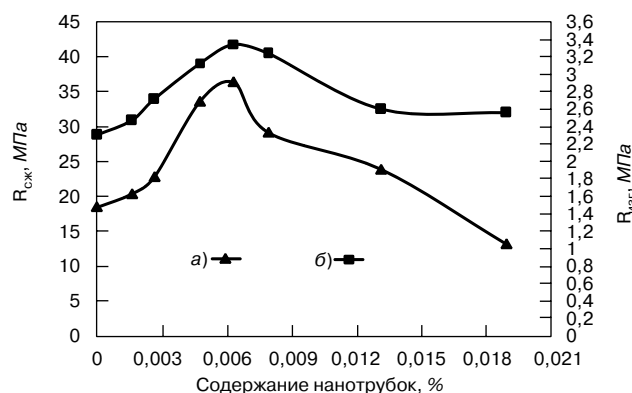


Рис. 1. Влияние многослойных углеродных нанотрубок Graphistrength™ при использовании в качестве ПАВ СП-1: а – предел прочности при сжатии; б – предел прочности на растяжение при изгибе

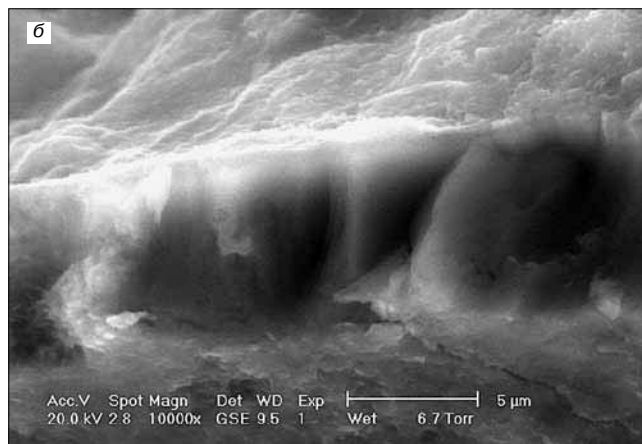
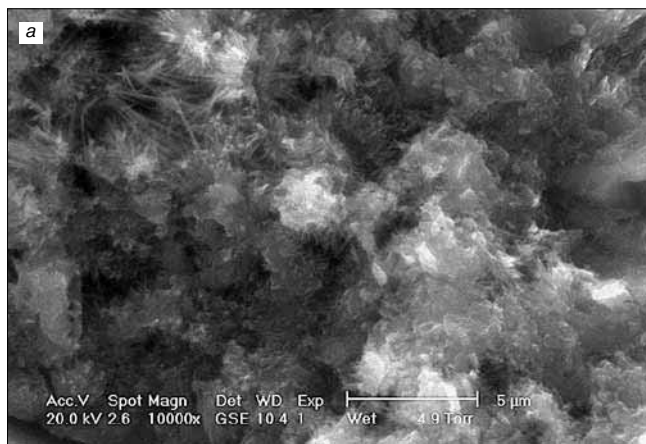


Рис. 2. Микроструктура цементной матрицы в структуре мелкозернистого бетона: а – контрольного образца; б – модифицированного углеродными нанотрубками

мым процессом, и суспензию можно довольно легко ре-диспергировать повторной обработкой в диспергаторе.

Изготовление образцов для механических испытаний производили по стандартной методике. Применялись образцы-балочки размером 40×40×160 мм. Были исследованы свойства мелкозернистого цементного бетона на портландцементе марки ПЦ400-Д0 и кварцевом песке с модулем крупности  $M_k=3,08$ .

В качестве сурфактантов при диспергации углеродных нанотрубок были использованы карбоксиметилцеллюлоза в сочетании с суперпластификатором Полипласт СП-1.

Микроструктура и микроанализ цементной матрицы бетона исследовались на растровых электронных микроскопах FEI Quanta 200, XL 30 ESEM-FEG фирмы PHILIPS и JSM JC 25S фирмы JEOL. Анализ размеров наносистем в суспензиях проводился на приборе VI-MAS/plus 90. Полное тепловыделение и скорость изменения тепловыделения исследовались в термосном калориметре.

Оптимальное содержание углеродных нанотрубок при определении прочности образцов-балочек на растяжение при изгибе составило 0,006 % от массы цемента (рис. 1, кривая а). Прочность при изгибе достигла 3,35 МПа (у контрольного образца – 2,31 МПа), что дает увеличение прочности на 45,1%. Оптимальное содержание нанотрубок при определении прочности балочек при сжатии составило 0,006 % от массы цемента (рис. 1, кривая б). При этом прочность при сжатии достигла 36,33 МПа (у контрольного образца – 18,46 МПа), что составляет прирост на 96,8 %.

Исследование микроструктуры цементного бетона показало, что введение углеродных нанотрубок приводит к кардинальному изменению морфологии кристалло-днатных новообразований в цементной матрице (рис. 2).

Введение дисперсии углеродных нанотрубок приводит к структурированию цементной матрицы с образованием плотной бездефектной оболочки по поверхности твердых фаз, включая частицы цемента и заполнителя (рис. 2, б), обеспечивающей лучшее сцепление с их поверхностью. При этом посредством контактных взаимодействий структурированных граничных слоев формируются пространственные каркасные ячейки в структуре модифицированной цементной матрицы. Большое число точечных контактов обеспечивает формирование предельно наполненной системы, в которой коллективный переход к сцеплению в ближнем порядке вызывает резкое упрочнение структуры модифицированной цементной матрицы за счет образования пространственной упаковки.

Анализ микроструктуры при больших увеличениях показал, что в контактной зоне цементной матрицы без модифицирующих углеродных нанотрубок наблюдаются кристаллы гидросиликатов кальция рыхлой структуры, а контактная зона имеет дефекты структуры (рис. 3, а). Структурирование цементной матрицы после введения дисперсии углеродных нанотрубок приводит к формированию плотной оболочки толщиной 1–5 мкм с морфологией кристаллогидратов, ориентированных вертикально к поверхности твердой фазы (рис. 3, б).

Проведенный микроанализ элементного состава структурированного слоя цементной матрицы

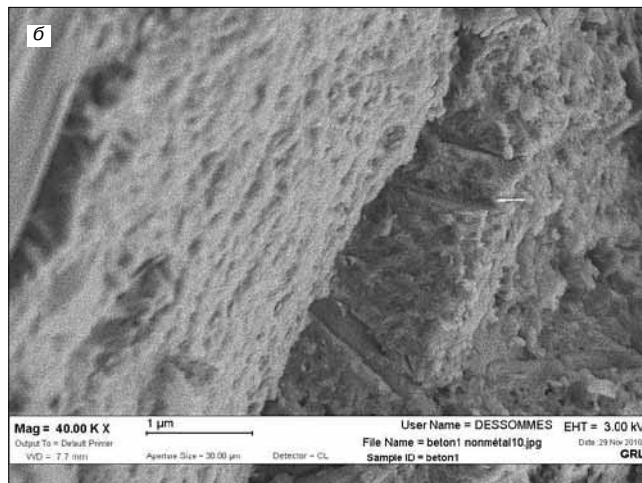
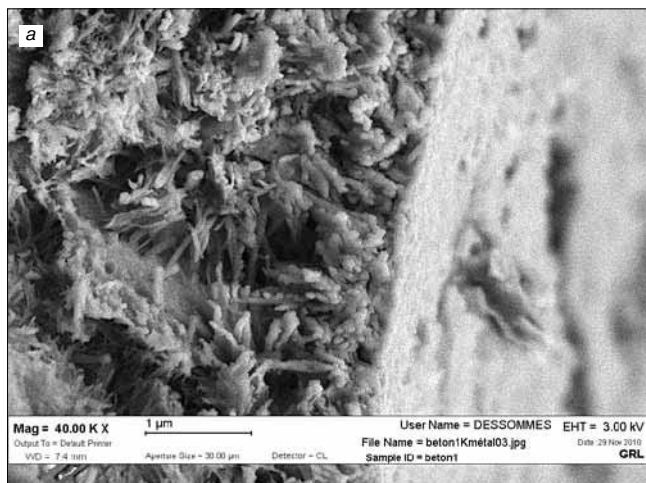


Рис. 3. Морфология новообразований в межфазном слое на границе заполнителя: а – рыхлая цементная матрица без углеродных нанотрубок; б – модифицированная цементная матрица



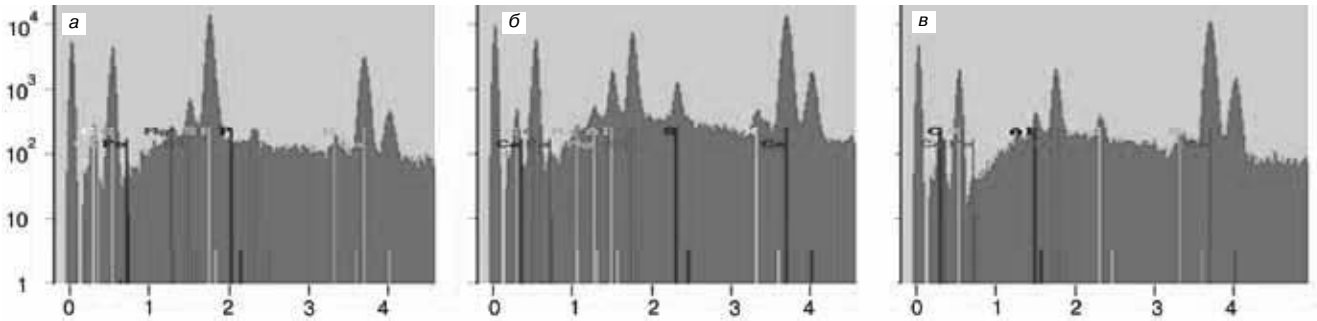


Рис. 4. Микроанализ структурированного слоя гидросиликатов кальция: а – на внешней оболочке слоя; б – внутри оболочки; в – на границе между твердой фазой и цементной матрицей

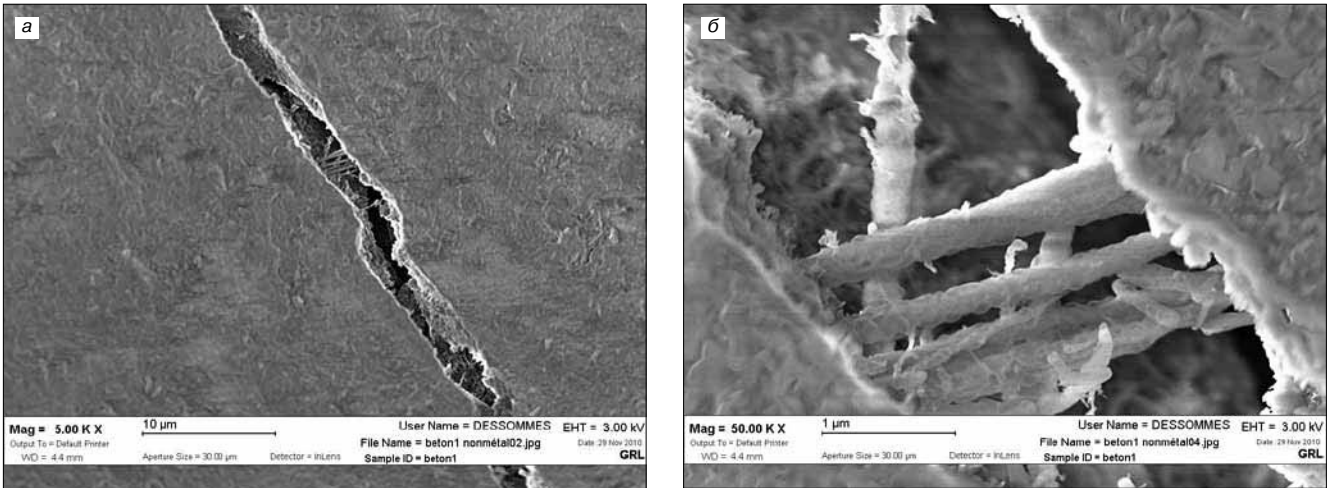


Рис. 5. Зарастающая трещина в структуре цементной матрицы, модифицированной углеродными нанотрубками (а); фрагмент трещины с нанотрубками, покрытыми гидросиликатами кальция (б)

(рис. 2, б) на поверхности твердой фазы показал изменение соотношения между содержанием атомов кремния и кальция по толщине слоя (рис. 4). На границе между твердой фазой и цементной матрицей отмечено существенное повышение интенсивности пиков, соответствующих атомам кальция, что позволяет говорить о повышении основности гидросиликатов кальция (рис. 4, в). По мере отдаления от граничного слоя нарастает интенсивность пиков, соответствующих атомам кремния (рис. 4, а, б).

Гидросиликаты кальция отмечены в зарастающих усадочных трещинах, рост которых тормозится армирующим эффектом углеродных нанотрубок (рис. 5). Исходный диаметр нанотрубок с учетом наличия на их поверхности ПАВ составляет 40–50 нм. На рис. 5, б

диаметр нанотрубок составляет 300–400 нм, что свидетельствует о покрытии нанотрубок слоем гидросиликатов кальция, что также подтверждено работой [15]. При этом отмечается, что в силу высокой активности зарастание поверхности наступает в первые часы гидратации портландцемента. По всей видимости, это связано с тем, что введение дисперсий нанотрубок интенсифицирует процессы гидратации портландцемента, что подтверждено исследованиями в термосном калориметре.

Для изучения кинетики гидратации цемента в присутствии многослойных углеродных нанотрубок было проведено исследование полного тепловыделения и скорости изменения тепловыделения в термосном калориметре (рис. 6), которые показали, что введение

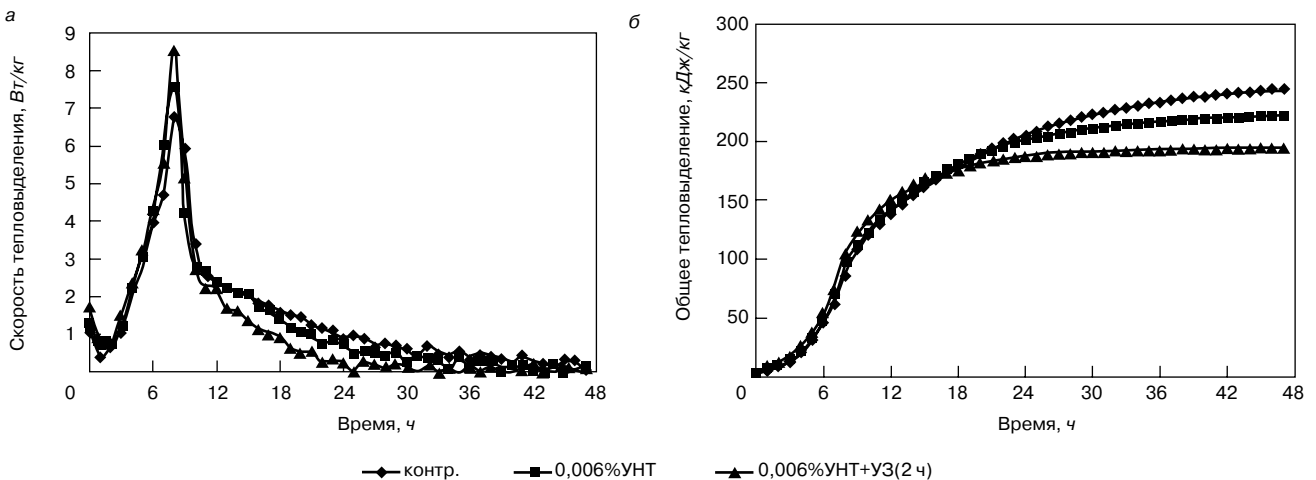


Рис. 6. Влияние углеродных нанотрубок на скорость тепловыделения (а) и общее тепловыделение (б) при гидратации цемента

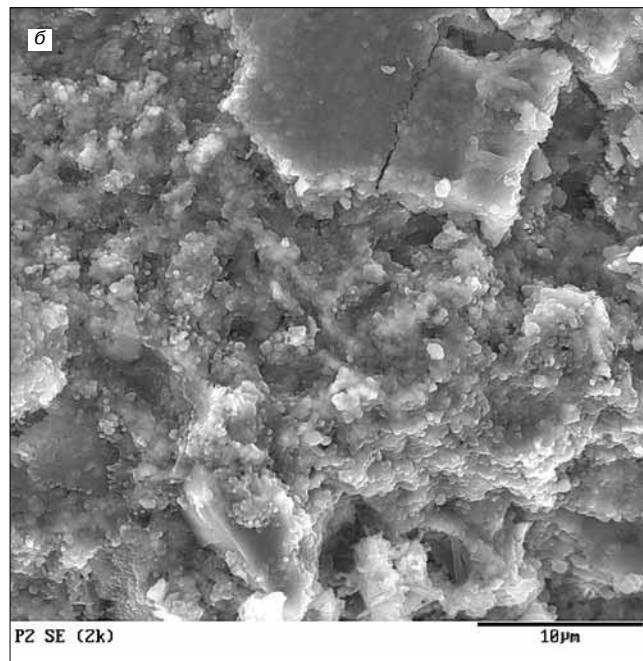
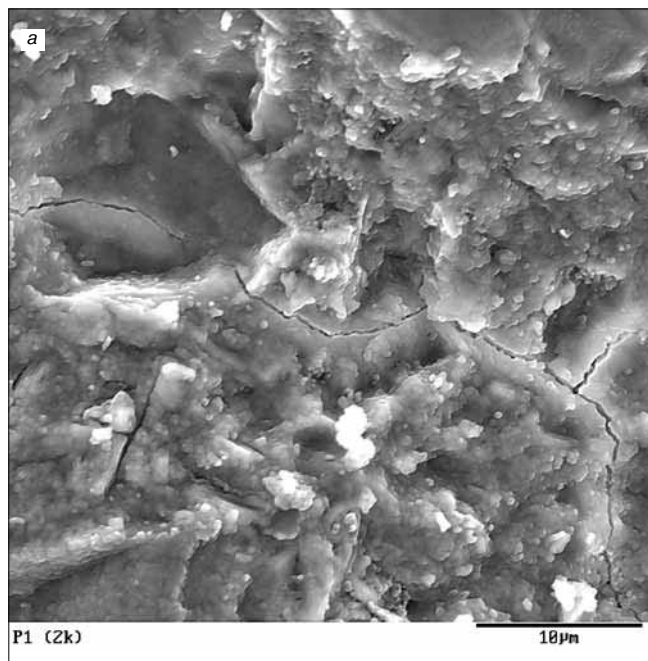


Рис. 7. Микроструктура плотного цементного бетона после испытания на морозостойкость: а – контрольный образец с показателем морозостойкости F200; б – опытный образец бетона с добавлением углеродных нанотрубок (морозостойкость F300)

многослойных углеродных нанотрубок вызывает повышение скорости протекания гидратационных процессов, выражающееся в увеличении скорости тепловыделения при образовании кристаллогидратных новообразований на этапе формирования первоначального каркаса (рис. 6, а). В процессе формирования структурированных слоев повышенной плотности на поверхности цементных частиц интенсивность гидратации цемента уменьшается, соответственно снижаются экзотермические процессы при твердении цементной матрицы, что наглядно отражается на интегральных кривых тепловыделения цементного камня, модифицированного углеродными нанотрубками (рис. 6, б). При этом отмечается, что дополнительная обработка дисперсий с нанотрубками перед введением их в бетонную смесь позволяет ускорить структурообразование, отражающееся на форме кривых тепловыделения. Микроанализ элементного состава подтверждает снижение диффузии ионов кальция через структурированную оболочку, что приводит к формированию в контактной зоне на поверхности частиц цемента гидросиликатов кальция повышенной основности.

Анализ морозостойкости бетона показал повышение показателя морозостойкости с F200 для контрольных образцов до F300 для опытных образцов бетона, модифицированного дисперсией многослойных углеродных нанотрубок. Морозостойкость цементного камня определяется прежде всего пористостью структуры. В цементных бетонах, модифицированных дисперсиями углеродных нанотрубок, вследствие наличия структурированных слоев цементной матрицы пористость значительно снижается за счет уплотнения новообразований, которое хорошо просматривается на рис. 2 и 3. Плотная структура цементного камня предопределяет понижение его водопоглощения и соответственно снижает деформации бетона при кристаллизации воды при воздействии на бетон низких температур.

Возможно, повышение морозостойкости бетона связано с дополнительным наноармированием структуры цементного камня в бетоне. Как видно из рис. 7<sup>1</sup>, тре-

щины, формирующиеся в цементном камне при испытании его на морозостойкость, преобладают в контрольном образце (рис. 7, а), приготовленном без модифицирующих углеродных нанотрубок. Рост микротрещин в опытном образце (рис. 7, б) сдерживается равномерно распределенными в цементном камне многослойными углеродными нанотрубками.

Таким образом, результаты исследования показывают, что в процессе хранения суспензии углеродные нанотрубки склонны к коагуляции с образованием агломератов с размерами в несколько микрометров. Следовательно, для более эффективного обеспечения равномерного распределения нанотрубок в минеральных вяжущих матрицах необходимо применение свежеприготовленных суспензий.

Введение дисперсий углеродных нанотрубок в цементные бетоны плотной структуры позволяет улучшать механические характеристики материала. При этом существенное влияние на механические характеристики бетона оказывает вид пластифицирующей добавки, используемой при диспергации углеродных нанотрубок.

При использовании пластифицирующей добавки Полипласт СП-1 прочность бетона, модифицированного дисперсией углеродных нанотрубок в количестве 0,006% от массы портландцемента, повышается на 96,8%.

Анализ микроструктуры новообразований в цементной матрице показывает, что модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками меняет морфологию кристаллогидратов с формированием контактных зон повышенной плотности по поверхности твердой фазы. Такая структура обеспечивает повышение прочности цементного бетона и морозостойкости, что подтверждается результатами физико-механических испытаний бетона, модифицированного многослойными углеродными нанотрубками.

**Ключевые слова:** бетон плотной структуры, наносистемы, гидросиликаты кальция.

<sup>1</sup> Анализ микроструктуры бетона выполнен в Bauhaus-Universität Weimar доктором-инженером Х.-Б. Фишером.

Список литературы

1. Antonovič V., Pundienė I., Stonys R., Čsniėnė J., Kerienė J. A Review of the Possible Applications of Nanotechnology in Refractory Concrete // Journal of Civil Engineering and Management. 2010. Vol. 16, № 4, pp. 595–602.
2. Липанов А.М., Тринеева В.В., Кодолов В.И., Яковлев Г.И., Крутиков В.А., Волкова Е.Г. Получение углеродных металлосодержащих наноструктур для модификации строительных композиций // Альтернативная энергетика и экология. 2008. № 8. С. 82–85.
3. Yakovlev G., Kerien Ja., Plechanova T., Krutikov V. Nanobewehrung von Schaumbeton // Beton- und Stahlbetonbau. 2007. Vol. 102, Is. 2, pp. 120–124.
4. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Крутиков В.А., Макарова И.С., Мачюлайтис Р., Фишер Х.-Б., Бурьянов А.Ф. Газобетон на основе фторангидрита, модифицированный углеродными наноструктурами // Строит. материалы. 2008. № 3. С. 70–72.
5. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Кодолов В.И., Крутиков В.А., Фишер Х.-Б., Керене Я. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками // Строит. материалы, 2009. № 3. С. 99–102.
6. Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Shah S.P. Highly Dispersed Carbon Nanotube Reinforced Cement Based Materials. Cement and Concrete Research. Vol. 40. 2010. pp. 1052–1059.
7. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes. Carbon. (2005). № 43. pp. 1239–1245.
8. Маева И.С., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // Строит. материалы. 2009. № 6. С. 4–5.
9. Shah S.P., Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Mondal P. Nanoscale Modification of Cementitious Materials. Proceedings of the Third International Symposium on Nanotechnology in construction. Springer. 2009. pp. 125–130.
10. Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Shah S.P. Nanoimaging of highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials. Seventh International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concrete: Design and Applications, Chennai, India, 2008, pp.125–131.
11. Makar J.M., Beaudoin J.J. Carbon nanotubes and their applications in the construction industry. Proceeding of the 1st International Symposium on Nanotechnology in Construction. 2004. pp. 331–341.
12. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Pressure-sensitive and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites. Cement and Concrete Research. 2007. Vol. 29. pp. 377–382.
13. Swirzen A., Habermehl-Chirzen K., Penttala V. Surface decoration of carbon nanotubes and mechanical properties of cement/carbon nanotube composites. Res. 2008. Vol. 20. pp. 65–73.
14. Холмберг К., Йенссон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 528 с.
15. Sakulich A.R., Li V.S. Nanoscale characterization of engineered cementitious composites (EEC) // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. Is. 2. pp. 169–175.
16. Rasaiah J. C. Statistical mechanics of strongly interacting systems: liquids and solids, in I. H. Moore; N. D. Spencer, Eds. Encyclopedia of chemical physics and physical chemistry, vol. 1: fundamentals, Bristol: Institute of Physics. 2001. P. 379–476.



**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ЦЕНТР ПРОЕКТНОЙ ПРОДУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»  
(ОАО ЦПП)**

**ОСУЩЕСТВЛЯЕТ**

ведение Федерального фонда нормативной, методической, типовой проектной документации и других изданий для строительства, архитектуры и эксплуатации зданий и сооружений.

**ИЗДАЕТ И РАСПРОСТРАНЯЕТ**

<ul style="list-style-type: none"> <li>❑ федеральные нормативные документы (СНиП, ГСН, ГЭСН, ФЕР, ГОСТ, ГОСТ Р, СП, СН, РДС, НПБ, СанПиН, ГН) — официальные издания</li> <li>❑ методические документы и другие издания по строительству (рекомендации, инструкции, указания)</li> <li>❑ типовую проектную документацию (ТПД) жилых и общественных зданий, предприятий, зданий и сооружений промышленности, сельского хозяйства, электроэнергетики, транспорта, связи, складского хозяйства и санитарной техники</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❑ справочно-информационные издания о нормативной, методической и типовой проектной документации (Информационный бюллетень, Перечни НМД и ТПД и др.)</li> <li>❑ Общероссийский строительный каталог (тематические каталоги, перечни, указатели)</li> <li>❑ проекты коттеджей, садовых домов, бань, хозяйственных построек, теплиц</li> </ul>
--	--

**ОАО ЦПП** осуществляет сертификацию проектной документации на строительные конструкции и объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений. Центр аккредитован в качестве Органа по сертификации в Системе ГОСТ Р (ОС «ГУП ЦПП» — аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.11CP48).

**ТЕЛЕФОНЫ ДЛЯ СПРАВОК**

ОТДЕЛ ЗАКАЗОВ И РЕАЛИЗАЦИИ (495)482-4294	ОТДЕЛ ФОНДА ДОКУМЕНТАЦИИ (495)482-4112
ПРОЕКТНЫЙ КАБИНЕТ (495)482-4297	ОТДЕЛ СЕРТИФИКАЦИИ (495)482-0778
ФАКС: (495)482-4265	

**Наш адрес: 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, корп. 2**

В.Д. ЧЕРКАСОВ, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, В.И. БУЗУЛУКОВ, д-р техн. наук, Ю.В. ЮРКИН, канд. техн. наук, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск); Г.А. САВЧЕНКОВА, директор (abris@zgm.ru), Т.А. АРТАМОНОВА, зам. директора по НИР (abris@zgm.ru), ООО «Завод герметизирующих материалов» (г. Дзержинск, Нижегородская обл.)

## Наполнитель с химически модифицированной поверхностью для неотверждаемых герметиков

Используемые в герметиках наполнители играют весьма важную роль в обеспечении необходимых физико-механических, реологических и других свойств, позволяя изменять их в широких пределах.

По своему воздействию на свойства герметизирующих материалов наполнители делят на инертные и активные [1]. Инертные наполнители обычно не образуют адсорбционного слоя и не повышают прочности, но увеличивают жесткость композиций. Кроме того, введение инертных наполнителей может способствовать улучшению технологических свойств смесей на основе эластомеров и придавать некоторые специфические свойства, например снижать плотность или повышать химическую стойкость в агрессивных средах, способствовать образованию расплава на поверхности покрытий при тепловом воздействии.

Введение активных наполнителей в герметики на основе каучуков вызывает упорядочение их структуры вблизи частиц, способствует образованию химических связей между молекулами каучука и реакционно-способными группами на поверхности частиц субстрата.

Промежуточное положение занимают наполнители неактивные, но активизирующиеся при контакте с адгезивом. Обладая гидрофильной способностью, такие наполнители обуславливают большую разность поверхностей на границе с каучуком и для создания сольватной оболочки требуют химически фиксированного адсорбционного слоя.

Таким образом, активность наполнителя относится к какому-то определенному свойству наполненной системы. В связи с этим введено понятие структурной кинетической и термодинамической активности наполнителей [2].

Структурная активность — способность наполнителя оказывать влияние на структуру полимера, выражающаяся в том, что при введении наполнителя происходят изменения надмолекулярной организации (размера, формы, распределения структурных единиц).

Кинетическая активность — способность наполнителя влиять на подвижность тех или иных кинетических единиц различных размеров, а отсюда и на спектр времени релаксации.

Термодинамическая активность — способность наполнителя влиять на состояние термодинамического равновесия, а следовательно, и на термодинамические параметры наполненного полимера.

Наибольшее распространение для улучшения физико-механических и адгезионных свойств полимерных композиций получила адсорбционно-химическая модификация поверхности наполнителей [3]. Усиление взаимодействия в системе эластомер–наполнитель достигается в результате гидрофобизации поверхности наполнителя. При этом существенно улучшаются смачи-

вание эластомером наполнителя и его диспергируемость, а также уменьшается вязкость композиций.

Широкое и целенаправленное использование наполнителей в эластомерах часто затруднено именно из-за низкого взаимодействия в системе полимер–наполнитель и, как следствие, ухудшения технологических и физико-механических характеристик наполненных эластомерных композиций. Повысить это взаимодействие можно посредством изменения на наноразмерном уровне структуры и химической природы поверхностного слоя применяемых наполнителей, в большинстве своем инертных, в качестве которых чаще всего используются оксид кремния различной структуры а также кремнеземсодержащие природные материалы.

В качестве объекта изучения в работе был выбран диатомит. Это осадочная горная порода, состоящая преимущественно из микроскопических кремнистых одноклеточных диатомовых водорослей, обычно рыхлая или слабосцементированная. Средняя плотность диатомитов в сухом состоянии колеблется в пределах 150–600 кг/м<sup>3</sup>. Диатомиты в природном состоянии обладают способностью к адсорбции, плохой теплопроводностью, тугоплавкостью и кислотостойкостью, а также мелкой, равномерно распределенной, преимущественно замкнутой пористостью, достигающей 80–85%. Основной компонент диатомитов — гидраты кремнезема, опалы SiO<sub>2</sub> · nH<sub>2</sub>O, в качестве примеси содержат глиноземистые вещества, карбонаты и сульфаты натрия, кальция и магния, а иногда и примеси органических веществ. Средний химический состав диатомитов: 1–10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 78–94% SiO<sub>2</sub>; 0,3–4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,6–1,5% CaO; 0,1–1,5% MgO; потери после прокаливания (химически сорбированная вода) — 5–10% [4].

Диоксид кремния SiO<sub>2</sub> в составе кремнеземсодержащих минералов существует в кристаллическом и аморфном состояниях. Кристаллические формы SiO<sub>2</sub> в основном состоят из одинаковых структурных элементов — тетраэдров SiO<sub>4</sub>, которые расположены в его трехмерной структуре упорядоченным образом (образуют сетки параллельных плоскостей). Кристаллические формы кремнезема имеют неразвитую поверхность, поэтому при модифицировании значение имеют породы, основной частью которых является аморфный кремнезем. Структура аморфного кремнезема также представляет собой совокупность тетраэдров SiO<sub>4</sub>, но в пространстве они ориентированы случайным образом.

Существуют различные классификации поверхностных групп кремнеземов, например В.И. Лыгин выделяет: свободные терминальные (а); свободные геминальные (б); связанные взаимной водородной связью терминальные, или геминальные силанольные группы (в) и силанольные группы (г) [5]. Кроме того, поверхность

кремнеземов обычно покрыта полимолекулярным слоем физически сорбированной воды, которая почти всегда препятствует модифицированию (рис. 1).

Теоретической предпосылкой направления модификации структуры диатомита является молекулярная теория адгезии. Согласно этой теории адгезия обусловлена чисто физическим взаимодействием между молекулами полимера и наполнителя. Большое значение в создании прочного адгезионного соединения имеют активные функциональные группы (COO-, C=N-, OH- и др.) [6]. В связи с этим основное значение для дальнейшего модифицирования кремнезема имеют реакционноспособные силанольные группы на поверхности кремнезема, а не в его структуре (рис. 2).

В отличие от «истинных» кремнеземов в природных диатомитах часть ионов водорода поверхностных силанольных групп кремнезема замещена на катионы, преимущественно кальция, магния и железа. В результате адгезионная активность поверхности кремнезема, обусловленная силанольными группами, значительно снижается. Кроме того, процессу адгезии препятствует и физически сорбированная вода на свободных силанольных группах поверхности. Что касается физически сорбированной воды, то ее обычно легко удаляют посредством нагревания [7].

Повысить адгезионную активность частиц диатомита, по мнению авторов, можно путем увеличения доли свободных силанольных групп на их поверхности в результате химического модифицирования. Указанное модифицирование можно осуществить, например, кислотной активацией поверхности диатомита, которая будет происходить не только по замещенным силанольным группам (рис. 3), но и по группам Si-O-Si и Si=O. В результате такого химического модифицирования будет происходить локальное изменение природы и структуры поверхности диатомита на наноразмерном уровне. Дальнейшее целенаправленное изменение адгезионной активности поверхности диатомита с учетом химической природы молекул адгезива можно будет проводить путем химической прививки активных функциональных групп как неорганической, так и органической природы.

В данной работе приведены результаты изучения влияния химически модифицированного диатомита, используемого в качестве наполнителя полимерных вяжущих, на физико-механические свойства полученных герметизирующих материалов. Модифицирование проводили путем кислотной активации поверхности частиц диатомита в оптимизированных условиях. Активацию выполняли двумя различными кислотами, в связи с чем модифицированный диатомит получил маркировку ДМ-1 и ДМ-2. Количественное увеличение числа силанольных групп на поверхности модифицированного диатомита установлено методом ИК-спектроскопии. Немодифицированный диатомит здесь носит маркировку ДН.

Эффективность полученных наполнителей анализировали на базовой рецептуре герметизирующего материала, состоящей из 5 м. ч. бутилкаучука, 5 м. ч. СКЭПТ, 3 м. ч. полиизобутилена П-20 и 13 м. ч. индустриально-

го масла. Наполнитель вводили в пропорциях равных 15, 30 и 45% от общей массы герметика. Смесь готовили путем механического введения компонентов в смеситель и перемешивания в течение 1,5–3 ч до образования однородной массы.

Механические характеристики композиционных материалов оценивали по численным величинам прочности связи с металлом ( $\sigma_{отр}^{Me}$ ) и бетоном ( $\sigma_{отр}^{бет}$ ) при отрыве, прочности связи с металлом при сдвиге ( $\tau_{сдвиг}^{Me}$ ), пенетрации (П) и относительном удлинении при максимальных нагрузке ( $\epsilon_y$ ) и разрыве ( $\epsilon_{max}$ ) при температуре  $20 \pm 3^\circ C$ . Механические испытания проводили на разрывной машине Instron.

Адсорбционные слои полимера на поверхности наполнителя вносят существенный вклад в прочностные свойства композита по мере образования бесконечного кластера минеральных частиц в структуре материала, который образуется при достижении доли наполнителя около 30 мас. % [8]. В связи с этим активность наполнителя при низком его содержании не должна сказываться на прочностных свойствах композита. Это подтвердили испытания составов, проведенные при содержании диатомита 15 мас.%. При этом адгезионная прочность композитов с модифицированным диатомитом была той же, что и с обычным.

При 30 мас. % содержании диатомита модификация поверхности наполнителя оправдала ожидаемые прогнозы: привела к повышению адгезионной прочности герметика при отрыве; при этом произошло снижение прочности при сдвиге и существенное увеличение относительной деформации при разрыве. Полученные результаты свидетельствуют о том, что вследствие активации поверхности диатомита увеличилось число реакционноспособных групп, в первую очередь силанольных, способных образовывать адгезионные связи между полимером и наполнителем. Так как эти связи отличаются относительная гибкость, рост их числа привел к увеличению адгезионной прочности с одновременным повышением относительной деформации и снижению прочности при сдвиге. В таблице приведены физико-механические характеристики композиций, содержащих модифицированный диатомит в количестве 30 и 45 мас. %.

Активация поверхности диатомита кислотами по режимам модификации ДМ-1 и ДМ-2 дает одинаковую качественную картину изменения основных физико-механических свойств герметика. При этом эффект от ДМ-1 несколько выше, чем от ДМ-2. Это можно объяснить тем, что режим активации ДМ-1 был более длительным по сравнению с ДМ-2, что привело к образованию большего числа реакционноспособных групп.

Эффект от модификации поверхности диатомита по мере роста бесконечного кластера становится более существенным. При содержании диатомита в композиции в количестве 45 мас. % адгезионная прочность герметика на четверть выше, чем с немодифицированным, и сравнительно не меняется пенетрация и относительная деформация при максимальной нагрузке. Относительная

Режим модификации диатомита	$\sigma_{отр}^{Me}$ , МПа	$\sigma_{отр}^{бет}$ , МПа	$\tau_{сдвиг}^{Me}$ , МПа	П, 0,1, мм	$\epsilon_y$ , %	$\epsilon_{max}$ , %
ДН	0,119/0,186	0,123/0,179	0,018/0,028	78/51	60/60	360/200
ДМ-1*	0,126 (+6%) 0,23 (+24%)	0,164 (+33%) 0,22 (+23%)	0,016 (-13%) 0,023 (-22%)	81 (+4%) 52 (+2%)	60 (0%) 60 (0%)	640 (+78%) 420 (+120%)
ДМ-2*	0,128 (+8%)	0,157 (+28%)	0,017 (-6%)	95 (+22%)	68 (+13%)	420 (+17%)

\* В скобках указано процентное изменение характеристики по сравнению с ДН.

Над чертой – при содержании наполнителя в композиции 30 мас. %; под чертой – при 45 мас. %.

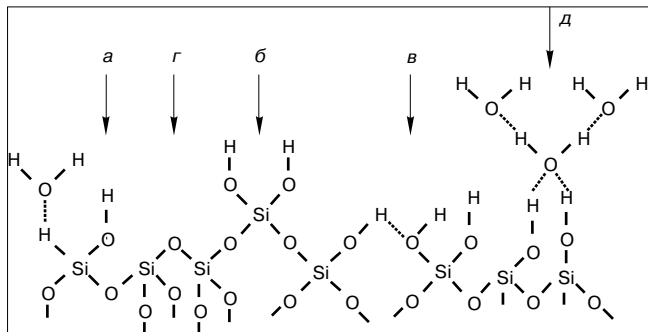


Рис. 1. Модель поверхности кремнезема, группы: а – терминальные; б – геминальные; в – связанные водородной связью силанольные; г – силосановые; д – физически сорбированная вода

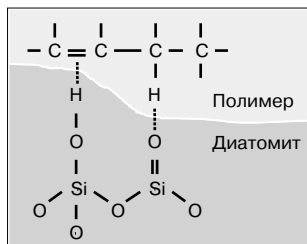


Рис. 2. Схема адсорбционного взаимодействия молекул полимера с поверхностью диатомита

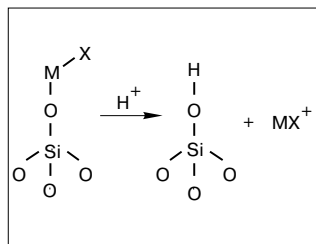


Рис. 3. Химическая активация поверхности частиц диатомита

деформация при разрыве у герметика с ДМ-1 более чем в два раза выше, чем с обычным диатомитом (таблица).

На основании проведенных исследований установлено, что применение наполнителей с химически модифицированной поверхностью позволяет повысить уро-

вень взаимодействия в системе полимер – наполнитель и получить герметизирующие материалы с улучшенными свойствами. Использование диатомитов с химически модифицированной поверхностью позволяет повысить на 25% адгезионную прочность, увеличить в два раза его относительную деформацию по сравнению с немодифицированным диатомитом.

**Ключевые слова:** герметик, каучук, диатомит, адгезия, модификация наполнителя.

**Список литературы**

1. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Климов Н.С. Общая технология резины. М.: Химия, 1963. 560 с.
2. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. М.: Химия, 1977. С. 149–150.
3. Донской А.А., Баритко Н.В. Наполнителя для герметиков пониженной плотности // Клеи. Герметики. Технологии. 2006. № 5. С. 12–18.
4. Дистанов У.Г. Природные сорбенты СССР. М.: Наука, 1990. 168 с.
5. Лыгин В.И. Молекулярные модели поверхностных структур химически модифицированных кремнезёмов по данным колебательной спектроскопии и квантово-химических расчетов // ЖФХ. 2000. № 8. С. 1351–1359.
6. Киселев В.А. Теории адгезии // Клеи. Герметики. Технологии. 2006. № 12. С. 7–10.
7. Модифицированные кремнезёмы в сорбции, катализе, хроматографии / Под ред. Г.В. Лисичкина. М.: Химия, 1986. 248 с.
8. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Химмлер К.Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве / Под ред. В.И. Соломатова. М.: Стройиздат. 1988. 312 с.

Реклама



Новое поколение российских технологий гидроизоляции

**Качественная защита сооружений от проникновения влаги и вибрационных нагрузок**

**Отсечная гидроизоляция “Абрис® С-ДБ”**

- простой и быстрый монтаж;
- имеет самоклеящийся наружный слой;
- снижает вибрационные нагрузки на конструкцию до 30%.

t° эксплуатации от -60 до +140°C

Гидроизоляционный слой с вибродемпфирующим эффектом

Оцинкованная сталь



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

ООО “Завод герметизирующих материалов”  
Тел./факс: (831) 260-03-16, (8313) 27-50-78, 27-52-95; e-mail: abris@zgm.ru

В.В. БАБКОВ, д-р. техн. наук, Д.В. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук,  
А.М. ГАЙСИН, канд. техн. наук, О.А. РЕЗВОВ, инженер (ufaoleg@bk.ru), Уфимский  
государственный нефтяной технический университет; Е.В. МОРОЗОВА, канд. техн. наук,  
Л.С. АРСЛАНБАЕВА, инженер, ООО «Баумит» (Санкт-Петербург, Уфа)

## Проблемы надежности наружных стен зданий из автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения

В практике производства и применения автоклавных газобетонных изделий на основе известково-кремнеземистых или смешанных вяжущих в наружных стенах, ставших в последние годы особенно актуальными в связи с повышением требований к теплозащите ограждающих конструкций зданий, важной и требующей разрешения является проблема защиты и обеспечения

долговечности таких стен. Опыт эксплуатации зданий с подобными стенами невелик (не более 50 лет).

Автоклавный газобетон в составе наружной стены эксплуатируется в широком диапазоне влажности, в условиях попеременного увлажнения и высушивания. При действии этого фактора в материале возникают неравномерные в объеме деформации набухания –

Таблица 1

Реакции карбонизации	Исходные кристаллические фазы до карбонизации		Кристаллические продукты карбонизации		Коэффициент изменения объема кристаллической фазы
	Молекулярная масса, $m_x$	Плотность, $\gamma_x$ , г/см <sup>3</sup>	Молекулярная масса, $m_y$	Плотность, $\gamma_y$ , г/см <sup>3</sup>	
1 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	74,09	2,23	100,09	2,71	1,111
2.1 (гиллебрандит) => (ксонотлит) $6\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_{1,17} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow \text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 6\text{CaCO}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$	1159,8	2,64	714,96	2,69	1,11
2.2 (ксонотлит) $\text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 6\text{CaCO}_3 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow 12\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$	-	-	600,54	2,71	1,01
3.1 (фошагит) => (ксонотлит) $2\text{C}_5\text{S}_3\text{H}_3 + 4\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow \text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 4\text{CaCO}_3 + 5\text{H}_2\text{O}$	1029,28	2,67	714,96	2,69	1,073
3.2 (ксонотлит) $\text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 4\text{CaCO}_3 + 5\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow 10\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	-	-	400,36	2,71	0,957
4.1 (афвиллит) => (ксонотлит) $3\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3 + 3\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow \text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 3\text{CaCO}_3 + 8\text{H}_2\text{O}$	1027,14	2,64	714,96	2,69	0,994
4.2 (ксонотлит) $\text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 3\text{CaCO}_3 + 8\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow 9\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 9\text{H}_2\text{O}$	-	-	300,27	2,71	0,877
5 (ксонотлит) $\text{C}_6\text{S}_6\text{H} + 6\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow 6\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	714,96	2,69	600,54	2,71	0,834
6 (риверсайдит) $\text{C}_5\text{S}_5\text{H}_3 + 5\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow 5\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	694,98	2,6	500,45	2,71	0,691
7 (тоберморит) $\text{C}_6\text{S}_5\text{H}_{5,5} + 5\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow 5\text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 + 5,5\text{H}_2\text{O}$	739,8	2,43	500,45	2,71	0,606
8 (гиrolит) $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_{2,5} + 2\text{CO}_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow 2\text{CaCO}_3 + 3\text{SiO}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O}$	328,4	2,4	200,18	2,71	0,54

Примечание: С – CaO; S – SiO<sub>2</sub>; H – H<sub>2</sub>O.

усадки, обусловленные реализацией механизма сорбции-десорбции, а также напряжений стягивания водных менисков в капиллярах, что приводит к развитию внутренних напряжений и локальным структурным повреждениям, деструкции материала [1]. Влагостойкость материала в данном случае связана с амплитудой цикла и числом циклов попеременного увлажнения и высушивания.

Структура автоклавного бетона со средней плотностью 400–600 кг/м<sup>3</sup> имеет большой объем резервной пористости, что при увлажнении на уровне сорбционного в условиях действия попеременного замораживания-оттаивания не приводит к развитию внутрискруктурных напряжений. Однако при влагонакоплении выше сорбционного в порах структуры формируются водные мениски, происходит частичное или полное заполнение пор водой, что при фазовых превращениях жидкой поровой влаги в лед с увеличением объема 9% обуславливает развитие внутрискруктурного давления льда и гидравлическое давление еще не замерзшей воды, захваченной льдом и твердой фазой стенок пор [2]. Этот механизм реализуется в виде многократных повторных воздействий и также приводит к снижению прочности. В соответствии с распределением температуры по толщине стены размораживание сочетается с интенсивным замачиванием наружной стены при косом дождевании, при конденсации влаги в переходные периоды зима–весна, осень–зима и локализуется в наружных слоях стены.

Оптимизация технологии производства автоклавных стеновых изделий основывается, как правило, практически на единственном критерии – максимальной прочности применительно к конкретной плотности. В соответствии с этим проектирование составов известково-кремнеземистых или смешанных вяжущих применительно к кремнезему определенной дисперсности (3000–5000 см<sup>2</sup>/г) базируется на минимальном соотношении C/S с формированием в цикле автоклавирования низкоосновных гидросиликатов кальция типа ксоногита (C<sub>6</sub>S<sub>6</sub>H), тоберморита (C<sub>5</sub>S<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) при полном связывании извести. Такая система в силу высокой пористости 75–85% и попеременного увлажнения-осушения уязвима по воздухоустойчивости из-за доступности стуктурообразующих фаз в виде гидросиликатов кальция для углекислого газа воздуха. Карбонизация ячеистого бетона атмосферной углекислотой протекает во много раз быстрее, чем в плотных силикатных бетонах или на цементной основе. Скорость карбонизации не останав-

ливается в поверхностных слоях стены, как это происходит у тяжелых бетонов. Глубокому проникновению CO<sub>2</sub> в толщу стены и сравнительно высокой скорости протекания карбонизационных процессов способствует сеть сквозных капилляров и макропор, характерных для ячеистых бетонов, пористость которых формируется за счет газообразователя.

Карбонизация низкоосновных гидросиликатов кальция, преобладающих в автоклавном газобетоне, происходит с перекристаллизацией в карбонаты кальция при выделении кремнекислоты с потерей объема носителя прочности – кристаллической фазы. Более благоприятным для сохранения прочности и обеспечения долговечности будет растянутый во времени двухстадийный процесс перекристаллизации высокоосновных гидросиликатов кальция частично в низкоосновные гидросиликаты и частично в кальцит (первая стадия). Имеющаяся при этом непрогидратировавшая известь также будет перекристаллизовываться в CaCO<sub>3</sub>, при этом объем носителя прочности – кристаллической фазы будет прирастать. На второй стадии перекристаллизации низкоосновных гидросиликатов в карбонаты также будет наблюдаться увеличение объема кристаллической фазы. Эти выводы подтверждаются результатами расчетов, представленных в табл. 1.

Результаты исследований, проведенных Е.С. Силанковым по принудительной карбонизации автоклавного газобетона, показали снижение прочности ячеистых бетонов на известково-кремнеземистых вяжущих, сформированных из низкоосновных гидросиликатов, относительно показателей до карбонизации [3]. Механизм снижения прочности газобетона при действии атмосферной углекислоты связан с повреждением стуктурообразующего элемента – межпоровых перегородок.

Отметим также, что снижению прочности ячеистой бетонной стены будет способствовать не только влажностная и карбонизационная усадка, но и градиент влажности и карбонизации материала по толщине стены, обуславливающий развитие дополнительных конструктивных напряжений растяжения.

Таким образом, необходимым условием воздухоустойчивости автоклавного газобетона в исходном состоянии является наличие в его структуре гидросиликатов повышенной основности и свободной извести.

Проблему защиты наружной стены на основе автоклавных газобетонных блоков от действия названных выше негативных факторов может решить гидрозащит-

Таблица 2

№№ п/п	Элемент защитной системы	Толщина, мм	Коэффициент паропроницаемости μ, мг/(м·ч·Па)	Сопротивление паропроницанию R <sub>уп</sub> , м <sup>2</sup> ·ч·Па/мг
1а	Базовый слой в виде клеевого состава Haftmörtel по синтетической сетке, включая грунтовку из того же материала	5	0,06	0,083
1б	То же, KlebeSpachtel	5	0,03	0,166
2	Минеральная декоративная штукатурка EdelPutzSpezial Natur	2	0,085	0,024
Сопротивление паропроницанию декоративно-защитной системы по варианту 1а+2 – 0,107 м <sup>2</sup> ·ч·Па/мг; по варианту 1б+2 – 0,19 м <sup>2</sup> ·ч·Па/мг.				

Таблица 3

Компоновка стены	Определяемый параметр	Характеристики наружных стен толщиной 400 мм из автоклавных газобетонных блоков различной средней плотности, кг/м <sup>3</sup>		
		400	500	600
Внутренняя цементно-песчаная штукатурка (20 мм) + стена толщиной 400 мм + фасадная декоративно-защитная система «Баумит» (KlebeSpachtel + EdelPutzSpezial Natur)	Общая толщина стены, м	0,43	0,43	0,43
	R <sub>o</sub> <sup>r</sup> , (м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	3,531	3,055	2,698
	R <sub>уп</sub> , (м <sup>2</sup> ·ч·Па)/мг	2,123	2,384	2,737
	ΔW <sub>ав</sub> , сумма за период, %	2,04	1,09	0,45





Многоэтажные жилые дома в районе Сипайлово г. Уфы с наружными стенами из автоклавных газобетонных блоков и фасадной отделкой в виде декоративно-защитного покрытия на основе материалов системы «Баумит»

ная штукатурная система, совмещающая также декоративную функцию, т. е. декоративно-защитная система.

Такая система должна обладать гидрофобностью, обеспечивающей блокировку поступления влаги при косом дождевании, конденсатной влаги, локализуемой на поверхности стены в переходные периоды. Адгезия системы к автоклавному газобетону должна быть на уровне прочности основы газобетона на растяжение, т. е. примерно  $1,5R_{btн}$  ( $R_{btн}$  – нормативное сопротивление ячеистого бетона на растяжение). Для бетонов средней плотности 400–600 кг/м<sup>3</sup> это соответствует диапазону характеристик адгезии 0,2–0,4 МПа. Элементы защитной системы должны обладать минимальной усадкой, повышенной растяжимостью и морозостойкостью. Материалы системы должны быть паропроницаемыми, чтобы обеспечить защиту стены от переувлажнения по двум критериям: из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период и из условия ограничения влаги за период с отрицательной среднемесячной температурой наружного воздуха  $\Delta W_{ав}$ . Эти условия должны согласовываться с высоким коэффициентом паропроницаемости высокопористого газобетона ( $\mu = 0,23–0,17$  мг/(м·ч·Па) для ячеистых бетонов со средней плотностью 400–600 кг/м<sup>3</sup>) и низким сопротивлением паропроницанию стены (для толщины стены 400 мм  $R_{vp} = 1,8 – 2,4$  м<sup>2</sup>·ч·Па/мг).

В условиях Республики Башкортостан в системах теплоэффективных стен по фасадной теплоизоляции, а также рассматриваемой стены на основе автоклавных газобетонных блоков опробована декоративно-защитная система «Баумит», характеристики которой получены В.Г. Гагариным и представлены в табл. 2 [4]. Данные

расчета влагонакопления стены на основе автоклавных газобетонных блоков толщиной 400 мм приведены в табл. 3. Расчеты показывают, что по критериям влагонакопления стены в рабочем диапазоне средних плотностей 400–600 кг/м<sup>3</sup> удовлетворяют требованиям СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» ( $\Delta W_{ав} < 6\%$ ).

На рисунке представлены многоэтажные каркасно-монолитные жилые дома постройки 2006 г. в Уфе со стенами-заполнениями толщиной 400 мм из автоклавных газобетонных блоков со средней плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> с фасадной декоративно-защитной системой «Баумит». После четырех лет эксплуатации защитная система не показала каких-либо повреждений, а стена доказала свою полноценность по теплозащите, температурно-влажностному режиму помещений и по состоянию внутренней поверхности стен.

**Ключевые слова:** автоклавные газобетонные блоки, многослойные штукатурки.

#### Список литературы

1. Чернышов Е.М., Потамошнев Н.Д. Материаловедение и технология автоклавных бетонов на основе хвостов обогащения железистых кварцитов. Воронеж: Воронежский госуд. арх.-строит. ун-т, 2004. 160 с.
2. Александровский С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. М: НИИСФ РААСН, 2003. 332 с.
3. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.
4. Гагарин В.Г., Курилюк И.С. Заключение по теме «Выполнить экспериментальные исследования паро-проницаемости и сопротивления паропроницанию клеевых и штукатурных составов ВАУМИТ», М.: НИИСР РААСН, 2010. 12 с.

26-29 АПРЕЛЯ 2011  
СОЧИ, Павильоны у Морпорта

IX СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНДУСТРИЯ 2011

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ

- АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, БЛАГОУСТРОЙСТВО, ЖК
- СПОРТИВНЫЕ ОБЪЕКТЫ – ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ОБОРУДОВАНИЕ
- КЛИМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ТЕПЛО, ГАЗО-, ВОДОСНАБЖЕНИЕ
- ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
- СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, ТОННЕЛИ
- ДОМ, ДАЧА, КОТТЕДЖ, ДЕРЕВЯННОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ, ЛАНДШАФТНЫЙ ДИЗАЙН
- ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА, ЭКСТЕРЬЕРА, ДЕКОР
- ЭКОЛОГИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ

Генеральный информационный спонсор: Специальный информационный партнер:

Главный информационный партнер: Генеральный интернет-партнер:

СОЧИЭКСПО Выставочная компания «Сочи-Экспо ТПП г. Сочи»  
Тел./факс: (8622) 648-700, 642-333, (495) 745-77-09  
e-mail: stroyka@sochi-expo.ru; www.sochi-expo.ru  
Официальный спонсор: Группа компаний «Ивент Сервис»

УДК 666.19:621

В.В. САМОЙЛЕНКО, инженер-химик-технолог,  
В.В. ФИРСОВ, инженер, Институт проблем химико-энергетических технологий  
Сибирского отделения РАН (г. Бийск Алтайского края)

## Температурная устойчивость базальтовых волокон

Большинство иностранных и отечественных производителей базальтоволокнистой изоляции в рекламных проспектах указывают на то, что она может эксплуатироваться при температуре до 700°C, а в некоторых источниках можно найти значения этого показателя от 500 до 900°C [1, 2], и даже 1100°C. При этом пояснений, на основании чего установлен такой температурный диапазон, не дается.

В нормативной документации на волокнистые теплоизоляционные материалы также нет четких требований на этот счет. Так, в ГОСТ 4640–93 лишь упоминается, что вата минеральная предназначена для изоляции поверхностей с температурой до 700°C. Сложилась парадоксальная ситуация, где, казалось бы, один и тот же материал имеет столь значительные различия в температуре применения.

Поиск информации показал, что в настоящее время нет единого критерия, по которому однозначно можно судить о температурной устойчивости волокнистых материалов.

Производители, выпускающие высокотемпературные утеплители на основе чистых оксидов кремния и алюминия, в частности муллитокремнеземистый войлок и изделия на его основе, достаточно точно указывают температуру применения, которая определяется интенсивной кристаллизацией волокон в очень узком температурном диапазоне с разрушением структуры материала и может быть достоверно измерена.

Совершенно другая ситуация характерна для базальтового волокна, отличающегося значительными вариациями химического и минералогического составов исходного сырья и физико-химических процессов, протекающих при его плавлении и волокнообразовании. Все это накладывает определенную специфику на поведение базальтоволокнистых материалов при повышенных температурах. Процессы кристаллизации в таких стеклообразных системах мало изучены. Современные методы анализа строения вещества (ДТА, ДСК-рентгенография, электронная микроскопия и др.) позволяют изучать структуру, фазовые и химические превращения и получать результаты, имеющие большое теоретическое значение, однако при этом дают мало информации, интересующей практиков.

Наиболее прост в инструментальном оформлении метод определения так называемой предельной температуры применения  $T_{пр}$  базальтовой ваты, приведенный в [3]. Сущность его заключается в установлении максимальной температуры, при которой уменьшение толщины образца под удельной нагрузкой 2000 Па при нагреве со скоростью 5 град/мин составляет 10%. Согласно многочисленным исследованиям  $T_{пр}$  базальтовой ваты в зависимости от химического состава находится в интервале 650–720°C.

Следует отметить, что этот метод не обеспечивает высокой точности оценки  $T_{пр}$ , так как усадку измеряют в динамическом режиме, а изменение толщины образца фиксируют с помощью линейки.

С использованием приведенного метода авторами была доработана установка и усовершенствована методика проведения эксперимента с целью изучения некоторых особенностей поведения базальтовой ваты при повышенной температуре. Для исследований отобраны образцы базальтовой ваты из супертонкого волокна вида ВМСТ, выпускаемой различными производителями. Образцы 1 и 4 изготовлены по технологии индукционного плавления в водоохлаждаемом тигле с последующим раздувом расплава сжатым воздухом; образцы 2 и 3 – плавлением в ванной газовой печи с выработкой первичных нитей через фильеру и раздувом их высокотемпературным газовым потоком.

Образец помещали в рабочее пространство лабораторной электрической печи с начальной температурой 20°C, устанавливали на него стержень с измерительным индикатором, обеспечивающий необходимую удельную нагрузку, и производили нагрев со скоростью 5 град/мин. По достижении заданной температуры образец выдерживали в печи в течение 4 ч.

На рис. 1 представлены зависимости усадки базальтовой ваты от температуры (а) и времени термостатирования при температуре эксперимента (б). Очевидно, что во время динамического нагрева с постоянной скоростью усадочные явления в материале не успевают пройти полностью и продолжают при изотермической выдержке. Зависимость общей усадки от температуры по окончании эксперимента близка к экспоненциальной.

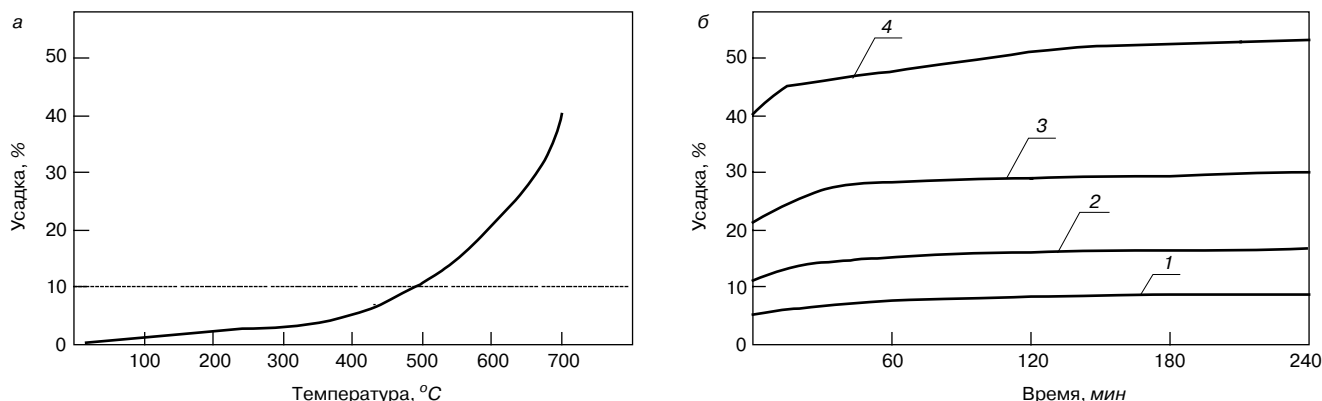


Рис. 1. Зависимость усадки базальтовой ваты от температуры (а) и времени термостатирования при температуре эксперимента (б): 1 – 400°C; 2 – 500°C; 3 – 600°C; 4 – 700°C

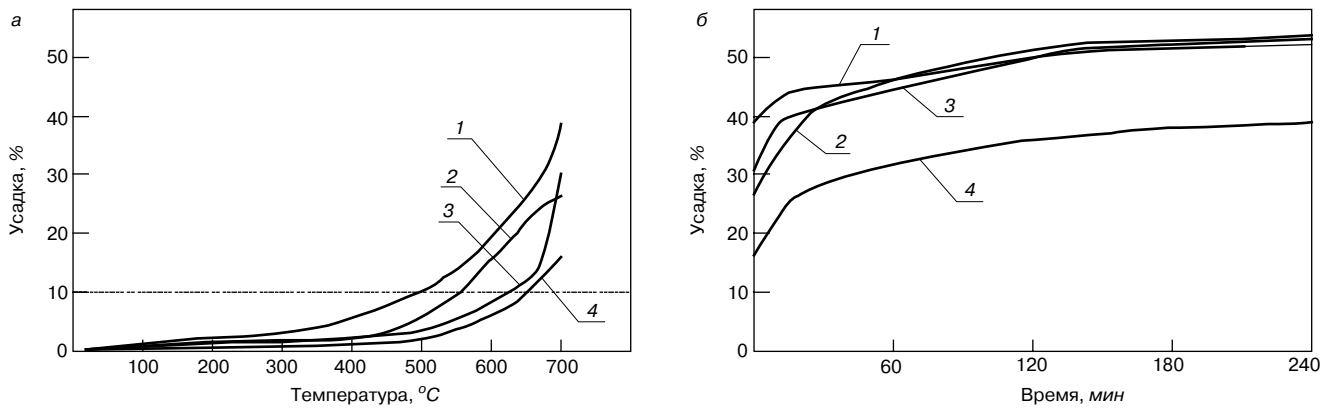


Рис. 2. Зависимость усадки базальтовой ваты от температуры (а) и времени термостатирования при температуре 700°С (б): 1, 4 – образцы, полученные по индукционной технологии; 2, 3 – образцы, полученные по фильерной технологии

Из представленных на рис. 2, а данных видно, что температурные кривые для четырех испытанных образцов разных производителей имеют схожий характер, хотя и превышают 10% усадку в диапазоне температур от 500 до 700°С, т. е. если судить по мнению авторов методики [3], имеют различную  $T_{пр}$ . Однако во время термостатирования при 700°С (рис. 2, б) уплотнение продолжается наиболее значительно в первые 15–20 мин и по истечении 180–240 мин стабилизируется. При этом конечная плотность после экспериментов для всех исследованных образцов составляла 250–300 кг/м<sup>3</sup>.

Следует подчеркнуть, что численные значения усадки – показатель весьма относительный, поскольку зависит от множества факторов, особенно для такого материала, как вата, где хаотично переплетенные эластичные волокна связаны между собой лишь силами трения. Поэтому вариации плотности образцов ваты, находящейся под нагрузкой перед началом эксперимента, могут повлиять на численные значения усадки, как в случае с образцом 4, но не на ход кривой и конечную плотность.

Продолжение усадочных процессов, происходящих при термостатировании, объясняется достаточно медленными химическими процессами перехода части  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$ , обусловленными воздействием кислорода воздуха с одновременной кристаллизацией железосодержащих фаз, которые не успевают пройти во время динамического нагрева.

В диапазоне температур 450–700°С происходит перестройка структуры базальтовых волокон со стекловидного до стеклокристаллического состояния, что обуславливает изменение их свойств. Эти процессы зависят от температуры: чем она выше, тем более интенсивно происходит переход двухвалентного железа в трехвалентное и тем больше накапливается кристаллической структуры в стекле. Цвет волокна с повышением температуры изменяется от светло-серого до желто-коричневого. В этом диапазоне и проявляются индивидуальные различия в термических свойствах волокон, полученных из сырья, отличающегося химическим и минералогическим составом, а также технологий их производства.

При дальнейшем повышении температуры образующийся материал уже трудно классифицировать как вату, поскольку он представляет собой базальтовый картон, идентичный картону, получаемому по технологии полуспекания. По литературным данным материалы из закристаллизованных базальтовых волокон могут применяться до температур на 100–150°С ниже температуры спекания, которая составляет 1040–1100°С.

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что для базальтовой ваты, независимо от химического состава и способа изготовления, при нагревании характерными являются три температурных диапазона:

I (от комнатной до ~450°С) – усадка происходит вследствие увеличения гибкости волокон без изменения структуры;

II (от ~450 до 700°С) – интенсивная усадка, связанная со структурными изменениями в волокне, определяемая процессами перехода  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  и кристаллизации железосодержащих фаз;

III (от 700°С до температуры на 100–150°С ниже температуры спекания) – характеризуется завершением процессов кристаллизации и замедлением усадки.

Необходимо отметить, что предельная температура применения базальтовой ваты, определяемая по 10%-ной усадке в процессе нагрева с постоянной скоростью, недостаточно корректна, так как, во-первых, усадочные процессы не успевают пройти за столь короткое время, во-вторых, результаты зависят от сжимаемости материала под нагрузкой. Более логичным было бы рассматривать не усадку как параметр достаточно абстрактный, а плотность и ее изменение в процессе испытаний, тем более что она легко может быть проконтролирована в производственных условиях.

Таким образом, поведение базальтовой теплоизоляции в условиях повышенных температур (начиная с 400–450°С) характеризуется постепенной деградацией, связанной с накоплением кристаллической фазы в аморфной структуре волокна. Хотя это и ведет к значительным изменениям свойств материала, в том числе к увеличению плотности как одному из важных показателей для теплоизоляции, однако не приводит к полной потере его волокнистой структуры вплоть до начала спекания.

Проведенные исследования показали, что базальтовая теплоизоляция из супертонкого волокна может применяться до температуры 700°С. При этом необходимо учитывать происходящие усадочные процессы и, как следствие, увеличение плотности материала. Для использования при более высоких температурах (700–1000°С) необходимы дополнительные исследования в каждом конкретном случае.

**Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, базальтовая вата, температура применения.

**Список литературы**

1. Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. М.: Теплоэнергетик. 2002. 411 с.
2. Шибалов С.Н., Аберяхимов Х.М. Сравнительная оценка эффективности применения различных типов теплоизоляционных материалов. Базальтоволкнистые материалы: Сб. статей (Научная библиотека журнала «Конверсия в машиностроении», вып. 5, приложение к журналу № 4, 2000). М.: Информконверсия. 2001. С. 156–169.
3. Холсты из микро-, ультра-, супертонких и стекломикрокристаллических стеклянных штапельных волокон из горных пород. Технические условия. РСТ УССР 1970–86 Киев: Госплан УССР, 1986. 14 с.

И.И. ОВЧИННИКОВ, канд. техн. наук (bridgeart@mail.ru),  
Саратовский государственный технический университет

## Долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений

Долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений зависит от нескольких факторов. Это внешние воздействия от различных нагрузок, которые в большинстве случаев имеют тенденцию к увеличению со временем; воздействия окружающей агрессивной среды. Любая окружающая среда, оказывающая воздействие на мостовое сооружение, может быть названа агрессивной, так как в состав воздуха входит углекислый газ, вызывающий карбонизацию бетона.

До недавнего времени считалось, что железобетонные мостовые конструкции могут прослужить до ста лет. Но под воздействием различных внешних факторов реальный срок службы оказывается меньше.

В нормативной документации стали появляться положения, нормирующие долговечность различных элементов сооружения и агрессивность воздействия окружающей среды.

Сам термин «долговечность» трактуется по ГОСТ 27.002–89 как «свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта».

В табл. 1 приведены требования к долговечности железобетонных конструкций в нормативных документах. Из таблицы видно, что СНиП 2.05.03–84\*, предписывая выполнять требования по долговечности, не уточняет, в чем эти требования заключаются, и способы их выполнения.

В СНиП 52-01–2003 уже рассматривается вопрос о долговечности при различных воздействиях на конструкцию, в том числе агрессивных. Долговечность должна быть обеспечена выполнением требований к бетону и его составляющим.

Требования по защите строительных конструкций от воздействия агрессивных сред устанавливают соответствующие нормативные документы.

В своде правил СП 52-101–03 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры», выпущенном в дополнение к СНиП 52-01–2003 «Бетонные и железобетонные конструкции», приведены основные положения, уточняющие требования к долговечности: для обеспечения несущей способности, пригодности к нормальной эксплуатации и долговечности бетонных и железобетонных конструкций помимо требований, определяемых расчетом, следует выполнять конструктивные требования: по геометрическим размерам элементов конструкций; по армированию (содержанию и расположению арматуры, толщине защитного слоя бетона, анкеровке и соединениям арматуры); по защите конструкций от неблагоприятного влияния воздействий среды.

Минимальные геометрические размеры сечений конструкций следует назначать, чтобы обеспечить необходимую коррозионную стойкость.

Толщину защитного слоя бетона назначают с учетом типа конструкций, роли арматуры в конструкциях (про-

дольной рабочей, поперечной, распределительной, конструктивной), условий окружающей среды и диаметра арматуры. В табл. 2 приведены минимальные значения толщины слоя бетона рабочей арматуры по СНиП 52-01–2003.

Но этот СНиП не устанавливает сроки службы конструкций, а лишь сообщает, что расчет бетонных и железобетонных конструкций по долговечности (исходя из расчетов по предельным состояниям первой и второй групп) следует производить из условия, по которому при заданных характеристиках конструкции (размерах, количестве арматуры и других характеристиках), показателях качества бетона (прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, коррозионной стойкости, температуростойкости и других показателях) и арматуры (прочности, коррозионной стойкости и других показателях) с учетом влияния окружающей среды продолжительность межремонтного периода и срока службы конструкций здания или сооружения должна быть не менее установленной для конкретных типов зданий и сооружений.

Впервые в нормативных документах срок службы различных мостовых конструкций установлен в Московских городских строительных нормах МГСН 5.02–99 «Проектирование городских мостовых сооружений», которые созданы как дополнение к СНиП 2.05.03–84\* «Мосты и трубы» (табл. 3).

Но в МГСН 5.02–99 представлены только нормативные сроки службы и нет методики их расчета.

Аналогичный подход применен и в нормах СНиП 32-05–2002 «Мосты и трубы», которые разрабатывали взамен действующих СНиП 2.05.03–84\*, СНиП 3.06.04–91, СНиП 3.06.07–86. Долговечность признали одним из потребительских функциональных свойств моста. СНиП устанавливает нормативные сроки службы мостовых конструкций исходя из двух различных методических принципов, которые приводят к близким результатам. Один из этих подходов основывается на учете морального износа пролетных строений, т. е. по исчерпанию функциональных потребительских свойств вследствие повышения со временем требований к ним по мере развития транспортных средств и роста интенсивности движения. Другой подход рассматривает сроки физического износа конструкций при рациональной системе эксплуатации мостов в отличие от ее практически полного отсутствия до последнего времени. В обоих случаях оптимальные сроки службы пролетных строений находятся в диапазоне 50–80 лет.

На основе статистических данных была разработана *Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автомобильных мостов*. При расчете срока службы учитываются ориентация сооружения, интенсивность движения на проектируемом участке, климатический район, принятые характеристики бетона и арматуры и размеры сечений. Срок службы

Таблица 1

Нормативный документ	Описание	Приведенные требования к долговечности	Год выпуска
СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы	Нормы распространяются на проектирование новых и реконструкцию существующих постоянных мостов и труб	...при проектировании новых и реконструкции существующих мостов и труб следует выполнять требования по обеспечению надежности, долговечности и бесперебойности их эксплуатации	1986
ВСН 4-81	Изложены порядок и правила проведения работ по текущим, периодическим и специальным осмотрам мостов и труб, эксплуатируемых на автомобильных дорогах; дана методика осмотра сооружений	Оценка долговечности производится в зависимости от категории неисправностей конструкции. Существует три категории неисправностей	1982
ВСН 32-89	Дана методика определения грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений мостов, имеющих дефекты в несущих элементах конструкций, а также конструкций без дефектов, грузоподъемность которых неизвестна	Снижение долговечности – это одно из следствий повреждения конструкции, т. е. недостатка в виде нарушения формы или целостности элемента, возникающего в результате силового, температурного или влажностного воздействия	1990
СНиП 52-01-2003	Приведены основные положения, определяющие общие требования к бетонным и железобетонным конструкциям, включая требования к бетону, арматуре, расчетам, конструированию, изготовлению, возведению и эксплуатации конструкций	Для удовлетворения требованиям долговечности конструкция должна иметь такие начальные характеристики, чтобы в течение установленного длительного времени она удовлетворяла бы требованиям по безопасности и эксплуатационной пригодности с учетом влияния на геометрические характеристики конструкций и механические характеристики материалов различных расчетных воздействий	2004
МГСН 5.02-99	Нормы распространяются на проектирование в Москве новых и реконструкцию существующих постоянных мостов, в том числе путепроводов любых типов, виадуков, эстакад, пешеходных и совмещенных мостов, а также сооружений тоннельного типа для прохода пешеходов и для проезда автомобильного транспорта	Расчетный срок службы проектируемых мостовых сооружений должен составлять не менее 70–100 лет, при условии выполнения требований по их эксплуатации. Приводятся таблицы, по которым рекомендуется принимать прогнозируемый срок службы частей и элементов сооружений	1999
РДН 218.05.14-2000.	Отражены тенденции старения мостовых сооружений в Краснодарском крае. Нормы дают возможность оценить мостовое сооружение по объективным показателям состояния элементов конструкции	РДН содержат методику определения износа элементов мостовых сооружений, нормы износа элементов, параметры долговечности элементов и конструкций, а также методику прогнозирования изменения во времени показателей износа эксплуатируемых мостовых сооружений	2000
Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных автомобильных мостов	Методика позволяет определять расчетом или принять предельные сроки службы железобетонных пролетных строений на разных этапах их функционирования.		2002
ОДН Нормы износа	Разработаны СНиП 2.05.03-84* и касаются нормирования пороговых значений износа элементов, конструктивных частей и мостового сооружения в целом, а также нормирования параметров долговечности	Приводятся значения пороговых уровней износа элементов	2003
ОДМ 218.0.018-03	Методика является частью нормативной базы системы управления эксплуатацией искусственных сооружений и предназначена для определения изменения состояния конструкций во времени. Используется при планировании работ по ремонту, реконструкции и перестройке мостовых сооружений	Позволяет определить фактический износ сооружения	2003
Проект СНиП 32-05-2002 «Мосты и трубы»	Нормы распространяются на проектирование, строительство, реконструкцию и приемку в эксплуатацию постоянных мостовых сооружений	Одним из потребительских функциональных свойств моста является его долговечность и безотказность. СНиП устанавливает нормативные сроки службы мостовых конструкций.	
EN 1992-1	Применяется для проектирования железобетонных зданий и гидротехнических сооружений. Включает принципы и требования по безопасности и эксплуатационной пригодности конструкций	Долговечная конструкция должна выполнять требования по эксплуатационной надежности, прочности и устойчивости в течение всего срока службы без существенной потери своих функций и непредвиденных ремонтов. Коррозионная защита арматуры зависит от плотности и качества бетона, толщины защитного слоя и трещинообразования. Плотность и качество покрытия достигаются регулированием водоцементного соотношения и связаны с минимальным классом бетона по прочности	

Таблица 2

Условия эксплуатации конструкций зданий	Толщина защитного слоя бетона, мм, не менее
В закрытых помещениях при нормальной и пониженной влажности	20
В закрытых помещениях при повышенной влажности (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	25
На открытом воздухе (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	30
В грунте (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий), в фундаментах при наличии бетонной подготовки основания	40

может определяться как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации как остаточный.

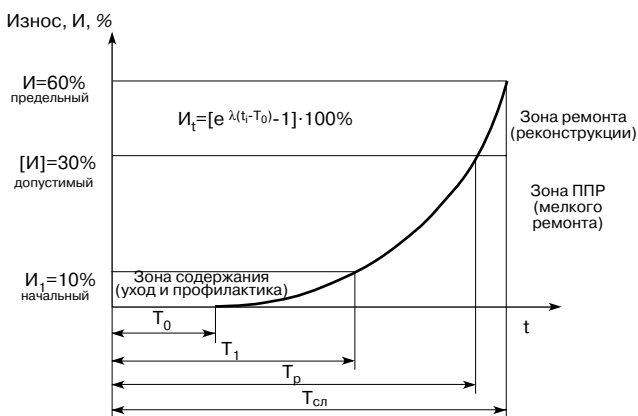
Срок службы определяют временем достижения предельного физического износа для следующих элементов и участков пролетных строений: фасадная поверхность конструкций; средняя поверхность; крайние блоки; средние блоки; плита проезжей части; диафрагмы или другие связи, продольные швы омоноличивания (на момент превращения связи в шарнирную).

Функция износа соответствует функции отказа из теории надежности (см. рисунок).

В Методике приводятся таблицы параметров сроков службы и графики долговечности для железобетонных ребристых и плитных пролетных строений с разным

Таблица 3

Вид частей и элементов сооружений (конструкций)	Срок службы, лет
<b>Фундаменты:</b>	
на буровых столбах диаметром 1 м и более	120
на забивных железобетонных сваях	100
мелкого заложения	90
<b>Опоры:</b>	
массивные из бетона естественного твердения	100
массивные сборно-монолитные	90
монолитные железобетонные	90
стоечные сборные	70
<b>Пролетные строения:</b>	
стальные из низколегированных сталей	100
стальные из углеродистых сталей	80
железобетонные монолитные	100
железобетонные сборные	70
железобетонные сборно-монолитные	80
сталежелезобетонные с монолитной плитой	100
сталежелезобетонные со сборно-монолитной плитой	90
<b>Опорные части:</b>	
стальные литые	100
стальные из проката	80
с применением полимерных материалов, в том числе резинометаллических	20
<b>Подпорные стены:</b>	
массивные бетонные	90
железобетонные монолитные	90
сборно-монолитные	70
<b>Мостовое полотно в целом</b>	
<b>Отдельные элементы:</b>	
тротуары железобетонные сборные и монолитные перильные ограждения:	40
стальные, в т. ч. чугунные	40
железобетонные	20
барьерные ограждения	10
деформационные швы	10
асфальтобетонное покрытие	10
гидроизоляция	20
система водоотвода, в т. ч. дренаж	10
<b>Сопряжение с насыпью (в целом):</b>	
укрепление конусов	30
дренаж у устоев, подпорных стен	40



Функция износа:  $e$  – натуральное число;  $t$  – временной параметр (годы);  $T_0$  – период приработки;  $\lambda$  – показатель функции износа, отражающий качество конструкций после изготовления и монтажа, качество содержания, реальные транспортные и природно-климатические условия функционирования объекта;  $I_t$  – износ в любой момент времени;  $T_p$  – время начала ремонта (при износе 30%);  $T_{сл}$  – срок службы до износа 60%

типом армирования, гидроизоляции, расположенных в различных климатических зонах на дорогах разных категорий. Но она не лишена и недостатков. Как говорят сами авторы, во избежание чрезмерных ожиданий успеха от реализации предлагаемой *Методики*, следует понимать, что при существующем уровне знаний поведения железобетонных конструкций в эксплуатации достоверность длительного (до ста лет) прогноза срока службы таких капитальных сооружений, как мосты, еще недостаточно высока. *Методика* скорее применима для прогнозирования среднего срока службы группы мостов с одинаковыми характеристиками, чем для какого-то одного конкретного сооружения.

Несмотря на недостатки *Методики*, ее положения нашли отражение в ряде новых нормативных документов (ОДМ 218.0.018–03 «Определение износа конструкций и элементов мостовых сооружений на автомобильных дорогах, ОДН. Нормы износа и сроков службы мостовых сооружений на автомобильных дорогах»).

Все методы оценки и прогнозирования ресурса делятся на четыре группы: статистические, детерминированные, физико-статистические и экспертные.

*Статистические методы* определения и прогнозирования ресурса требуют большого объема исходной информации как по отказам, так и по наработке исправно действующего оборудования. Только при наличии такой информации возможно получить статистически устойчивые параметры распределения выборок для оценки показателей надежности. В условиях эксплуатации выборок, как правило, недостаточно и обрабатываемые данные в силу объективных и субъективных причин имеют высокую степень неопределенности.

*Детерминированные методы* оценки ресурса используют аналитические зависимости, связывающие время до разрушения объекта с характеристиками эксплуатационных нагрузок и параметрами физико-химических процессов в конструкционных материалах оборудования сложных систем.

Однако детерминированные методы не учитывают случайных воздействий эксплуатационных нагрузок и, следовательно, случайных изменений в конструкционных материалах. Как правило, детерминированные методы дают весьма консервативные оценки ресурса оборудования сложных систем.

*Физико-статистические методы* при оценке ресурса учитывают как влияние разнообразных физико-химических факторов, способствующих развитию деградиационных процессов в конструкционных материалах, так и действующих эксплуатационных нагрузок. Причем несущая способность и эксплуатационные нагрузки анализируются с позиций математической статистики.

*Экспертные методы* оценки и прогнозирования ресурса связаны с ограничениями в выборе экспертов и их субъективностью. Вместе с тем если в качестве групп экспертов используют специалистов различной квалификации и опыта работы (эксплуатационный и ремонтный персонал, конструкторы, технологи) и одновременно проводится независимая экспертиза, то экспертный опрос может дать весьма интересные результаты для оценки и прогнозирования ресурса. Но основная ценность экспертных оценок заключается прежде всего в быстром получении результатов при минимальных затратах. При этом трудно утверждать о высокой точности результирующих оценок по сравнению с аналогичными, полученными с использованием математических методов.

**Ключевые слова:** долговечность, железобетонные конструкции, нагрузка, агрессивная среда, методы расчета долговечности, остаточный ресурс.

УДК 614.71:669.504.3.054(03)

Ю.В. КРАСОВИЦКИЙ, д-р техн. наук, Н.Н. ЛОБАЧЕВА, инженер (naloni@mail.ru),  
 Е.В. РОМАНЮК, канд. техн. наук (scercso@mail.ru), Воронежская государственная  
 технологическая академия (ВГТА); Н.В. ПИГЛОВСКИЙ, ведущий инженер  
 (piglovsky@vagon.vrn.ru), Воронежский вагоноремонтный завод (ВВРЗ);  
 Р.Ф. ГАЛИАХМЕТОВ, директор (grf@rosizvest.ru), ООО «Придонхимстройизвесть»  
 (г. Россошь, Воронежская обл.)

## Особенности эксплуатации пылеуловителей при производстве строительных материалов

Многие пылеулавливающие установки не обеспечивают проектных показателей эффективности улавливания. Причины неудовлетворительной работы газоочистных сооружений следующие: отклонение режима работы технологического агрегата от предусмотренного при проектировании системы газоочистки (изменение объема отходящих газов, их влажности, температуры) существенно влияет на показатели работы газоочистных устройств; неудовлетворительное качество изготовления пылеулавливающего оборудования, что приводит к резкому сокращению межремонтного периода работы аппарата; недостаточная квалификация персонала и слабое внимание руководства к вопросам санитарной очистки отходящих газов.

Решающим фактором эффективной работы пылеулавливающих аппаратов является предупреждение подсоса наружного воздуха или перетекания газов внутри аппарата, которое вызывает резкое повышение концентрации пыли в отходящих газах. Подсос холодного воздуха внутрь аппаратов ведет к заматыванию фильтровальной ткани, зарастанию элементов батарейных циклонов улавливаемой пылью. При эксплуатации газоочистных установок особое внимание уделяют предупреждению подсоса воздуха через пылевывпускные устройства и безрелейному удалению уловленной пыли.

При периодических осмотрах проверяют исправность всех механизмов и узлов установки и устраняют выявленные недостатки. Периодические осмотры проводят один раз в два месяца в зависимости от конкретных условий. Текущий ремонт, связанный с устранением мелких неисправностей, проводит по мере необходимости дежурный персонал. Планово-предупредительный ремонт осуществляют с целью предотвращения длительного простоя оборудования. В ходе капитального ремонта заменяют или восстанавливают часть пылеулавливающего оборудования.

Работа пылеулавливающих установок в аварийном режиме запрещается. Для пылеулавливающих установок всех видов аварийным режимом считается: работа аппаратов с отклонениями параметров очищаемого газа по объему, температуре, давлению, запыленности газа, химическому составу, влажности, физико-химическому составу и дисперсному составу пыли свыше пределов, установленных в производственной инструкции; пылевыгрузные устройства не работают или не обеспечивают выгрузку уловленного продукта при нормальном режиме работы аппарата; подсосы воздуха в аппарат превышают величину, установленную в производственной инструкции; если не обеспечивается режим стряхивания, смыва или обдува рабочих элементов аппаратов.

В процессе эксплуатации циклоны и батарейные циклоны подвергают систематическим осмотрам. В батарейных циклонах при осмотре обращают внимание на степень изношенности элементов, наросты пыли на направляющих лопатках, герметичность затворов и питателей. Не менее двух раз в год детально осматривают аппараты (внутри и снаружи). При необходимости их

очищают от пыли, заменяют изношенные детали или устраняют сваркой обнаруженные неплотности [1].

Негерметичность пылевыгрузного устройства при давлении в бункере выше атмосферного ведет к выбросу пыли в окружающую среду, а при разрежении — к резкому снижению коэффициента очистки газов от пыли. Так, подсос воздуха в бункер, равный примерно 15% от общего расхода газа через циклон, снижает коэффициент очистки на 34–40%.

Важное значение для эффективной работы газоочистных установок имеют правильное устройство пылевывпускных бункеров и своевременное освобождение их от уловленной пыли. Для циклонов типа ЦН слой пыли в бункере при наибольшем его заполнении должен быть ниже пылевывпускных отверстий циклонов не менее чем на величину двух диаметров этих отверстий.

Тепловая изоляция наружных поверхностей препятствует конденсации водяных паров из пылегазового потока, а поэтому должна поддерживаться в исправном состоянии. Конденсация водяных паров может вызвать заматывание циклонов или циклонных элементов батарейного циклона, пылевых затворов мокрой пылью и вывести аппарат из строя. Во избежание этого температуру газов, поступающих в аппараты, поддерживают выше точки росы не менее чем на 20–25°C. Температуру стенок аппарата под изоляцией поддерживают выше точки росы не менее чем на 10°C.

Если дымовые газы очищают после сушильных установок, то сохраняется вероятность попадания в аппараты недосушенного по технологическим причинам продукта. В этом случае значительное снижение вероятности залипания аппаратов улавливаемым продуктом обеспечивают приваркой к стенкам бункера обогреваемых паром змеевиков или паровых рубашек. У циклонов можно дополнительно обогревать и стенки аппарата.

Для предупреждения забивания аппаратов улавливаемым продуктом при очистке газов от сильнослипающихся пылей устанавливают периодически включаемые вибраторы на бункерах, а иногда и на конической части циклонов. Если вибраторы не дают ожидаемого эффекта, то внутри циклона можно устанавливать специальные ворошители. Следует отметить, что ворошители значительно ухудшают аэродинамику циклонного процесса и, как следствие, приводят к снижению степени очистки. Однако решение об их установке иногда оказывается единственно возможным для обеспечения работоспособности аппарата при улавливании сильнослипающихся пылей. Цепи ворошителя работают от специального привода с частотой вращения 4–6 мин<sup>-1</sup>.

Для надежной работы циклонных аппаратов температура газов должна быть выше точки росы на 20–25°C при негигроскопичной пыли и большой влажности газов. Допускаемая запыленность газов зависит от диаметра циклона и для слабослипающихся пылей (таблица).

При выборе допускаемой запыленности газов рекомендуется учитывать степень прилипания пыли к стен-

кам циклона, зависящую от физико-химических свойств, дисперсного состава пыли, влажности газов, материала и состояния поверхности стенок. Пыли, у которых 60–70% частиц диаметром до 10 мкм, липкие, те же пыли крупнее 10 мкм сыпучие.

Эффективность работы циклонов типа ЦН существенно зависит от режима работы аппарата. Для обеспечения наиболее высоких показателей очистки газов режим работы таких циклонов должен быть стабильным. Изменение расхода газа не должно превышать 10–12%.

На работающей установке газодинамическое сопротивление измеряют постоянно включенным манометром; отклонения показаний не более 25–30% от номинала. Температура стенок циклонов и бункера должна быть выше точки росы очищаемых газов. Особенно опасно снижение температуры при улавливании пылей, имеющих повышенное содержание  $\text{CaO}$  или других компонентов, вызывающих слипание пыли при наличии влаги и забивание течек. Кроме того, конденсация водяных паров приводит к коррозии внутренней поверхности стенок циклонов, бункеров и газоходов. Наличие слоя пыли на стенках ускоряет коррозию металла.

Таким образом, меры по предотвращению коррозии стенок циклонов сводятся прежде всего к содержанию в исправном состоянии наружной теплоизоляции.

Схема технологического контроля работы батарейного циклона пре представлена на рисунке.

В батарейных циклонах износ циклонных элементов при улавливании абразивных пылей – довольно распространенное явление; чаще изнашиваются стенки корпусов элементов в цилиндрической и конической части. Один из наиболее эффективных способов борьбы с износом – снижение скорости газа путем увеличения числа циклонных элементов. Заметный эффект достигается при полной ликвидации подсосов в газовых трактах.

Для предотвращения перетоков газа необходимы правильное изготовление и монтаж элементов. Недопустима установка в одном батарейном циклоне направляющих аппаратов типа «розетка» с разными углами наклона или типа «винт» с разным шагом спиралей.

Отложение пыли наблюдается при снижении расхода газа до 60% по сравнению с нормальным, так как в этом случае ухудшается эффект самоочистки. Такое же явление возможно в «мертвых» зонах при неправильном подводе и отводе газов. В последнем случае часто забивается также соответствующая часть межтрубного пространства распределительной камеры.

Нормальная работа фильтров по эффективности и надежности зависит от соблюдения проектных эксплуатационных параметров (температуры, влажности, расхода пылегазового потока, массовой концентрации, дисперсного и химического состава пыли, механической прочности, термо- и коррозионно-стойкости материала фильтрующих элементов и т. д.).

Превышение допустимой температуры пылегазового потока ведет к уменьшению срока службы ткани. При снижении температуры газов до точки росы пары воды конденсируются, в результате чего пыль, осевшая на ткани, увлажняется, слипается, замазывает поры ткани. При этом резко повышается гидравлическое сопротивление аппарата. Для предотвращения конденсации водяных паров температура газов на выходе из аппаратов должна быть на 20–30°C выше точки росы. При обратной продувке ткани воздух часто приходится подогревать.

При очистке высокотемпературных газов в фильтрах необходима тонкая регулировка их температуры. Наиболее приемлемый метод охлаждения газа – смешивание его с атмосферным воздухом.

Основной показатель, характеризующий работу фильтра, – его гидравлическое сопротивление. При нормальной работе фильтра, хорошей регенерации и

Диаметр циклона, мм	800	600	500	400	300	200	100
Допускаемая запыленность, кг/м <sup>3</sup>	2,5	2	1,5	1,2	1	0,8	0,6

оптимальной расчетной нагрузке гидравлическое сопротивление аппарата составляет примерно 800–900 Н/м<sup>2</sup>. В случае применения стеклоткани сопротивление аппарата обычно находится в пределах 1500–1800 Н/м<sup>2</sup>. Сопротивление фильтра меньше приведенных значений свидетельствует о недогрузке аппарата по газу и пыли, изношенности рукавов или неплотности в местах их крепления. Большие сопротивления указывают на более высокую начальную запыленность очищаемого газа или на плохую регенерацию.

В зависимости от степени запыленности газа и скорости фильтрации регулируют продолжительность регенерации. Оптимальный интервал между регенерациями фильтрующих элементов определяют опытным путем [5].

Часто причиной плохой работы фильтров является наличие щелей в местах стыковки распределительной трубной решетки с корпусом аппарата, в местах крепления фильтрующих элементов к патрубкам решетки и т. д. Устранение этих неплотностей и проверку аппарата на герметичность проводят при монтаже фильтра, планово-предупредительных ремонтах. Крепление фильтрующих элементов целесообразнее всего проводить комплектно для каждой секции одновременно. Комплект может состоять как из новых, так и из бывших в употреблении элементов.

Следует иметь в виду, что до настоящего времени в производстве достаточно широко применяются тканевые (рукавные) фильтры. Поэтому в дальнейшем при

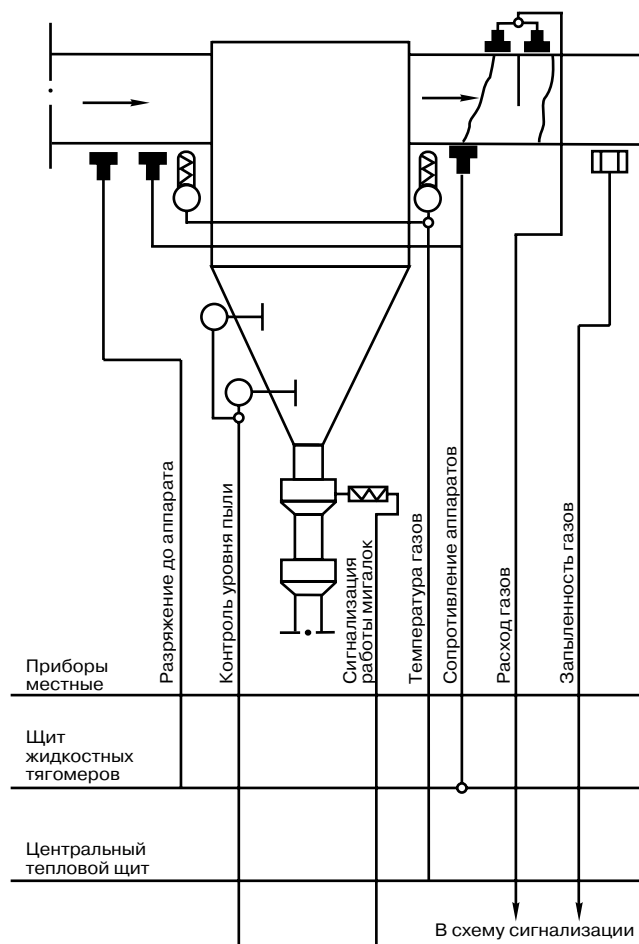


Схема технологического контроля работы батарейного циклона [2–4]



обсуждении условий эксплуатации фильтров мы будем учитывать это обстоятельство.

Как известно, наибольшему износу тканевые рукава подвергаются в нижней своей части, примерно на длине 300–400 мм от нижней газораспределительной решетки. Причина – повышенная скорость газа в нижней части рукава, особенно при его провисании и уменьшении входного сечения, а также временное повышение температуры поступающих на очистку газов. При повышенных скоростях газов ткань изнашивается вследствие истирания ее пылью. Поэтому рукав целесообразно выполнять составным из двух частей. Нижняя часть рукава сменная.

Во время обратной продувки ткани рукава сжимаются. Во избежание их чрезмерного сплющивания, которое затрудняет стекание уловленной пыли в бункер, рукава, выполненные из хлопчатобумажных, шерстяных или синтетических тканей, снабжают кольцами жесткости.

Накопленный опыт фильтрования газов подтверждает целесообразность более широкого использования стеклоткани, особенно при обслуживании высокотемпературных технологических процессов. Рукав любой конструкции, изготовленный из обычной ткани, очищают от пыли встряхиванием и обратной обдувкой. Использование же стеклоткани позволяет очищать рукава только обратной обдувкой.

При очистке сухих газов от пылей с высоким электрическим сопротивлением, например в производстве изделий строительной керамики, фильтровальные ткани из синтетических и стеклянных волокон заряжаются до 60 кВ [6]. Это создает опасность возникновения пожара в фильтре в результате электрического пробоя воздушного промежутка между рукавом и корпусом аппарата. Для защиты от электризации в ткани вплетают тонкие металлические проволочки или пропитывают их антистатическими электропроводящими составами.

Уместно отметить, что использование в этих условиях фильтрующих материалов из пористых металлов полностью устраняет эту опасность, делает практически неограниченным срок службы фильтрующих элементов, резко упрощает их регенерацию и повышает эффективность пылеулавливания.

Существенно влияет на эксплуатацию рукавных фильтров и фильтров с насыпным слоем герметичность переключающих клапанов и пылевыгрузных устройств. Подсосы из атмосферы и коллектора продувочного воздуха значительно увеличивают гидравлическое сопротивление, а следовательно, и энергетические затраты. Срок службы фильтровальных элементов для каждого материала устанавливают применительно к условиям эксплуатации. Рукава из лавсана в нормальных условиях работают от 8 до 20 тыс. ч. При улавливании высокоабразивных пылей с повышением температуры срок службы значительно снижается.

Мероприятия по уходу за фильтрами предусматривают специальной инструкцией [7]. При надлежащем уходе срок службы тканевых рукавов нередко достигает трех лет, на отдельных установках – четырех-пяти лет. При импульсной продувке рукавов из стекловолокна максимальный срок службы равен двум годам. При высокой выходной концентрации пыли он уменьшается, так как для поддержания достаточно низкого перепада давления нередко требуется практически непрерывная регенерация.

Преждевременный разрыв рукава может быть вызван слабым или сильным натяжением. При слабом натяжении разрушение от изгиба происходит вследствие перегиба в нижней части рукава. Недостаточное натяжение может также привести к касанию рукавов друг с другом, что мешает сбрасыванию пыли в бункер во время обратной продувки. Повторный унос уловленной пыли приводит к увеличению перепада давления и, как следствие, к продавливанию пыли через ткань, что уве-

личивает унос. Абразивное трение соседних провисших рукавов друг о друга может вызвать их разрушение. Этот недостаток исправляют путем правильного размещения распорных колец вдоль рукава.

Рекомендуемое натяжение рукава в среднем составляет около 4 кг на 100 мм окружности, т. е. 15 кг для рукава диаметром 130 мм. При этом следует учитывать длину и массу рукава, а также массу слоя при его максимальной толщине. Хорошо спроектированная система обратной продувки обеспечивает медленную подачу давления в секцию после регенерации, что защищает рукава от резкого раздувания или толчка. Постепенная подача давления достигается благодаря использованию тарельчатых клапанов либо ограничивающих расход приспособлений в одном из выпускных клапанов.

При эксплуатации фильтра корпус аппарата рекомендуется открывать для осмотра через определенные промежутки времени (не реже одного раза в неделю). При осмотре проверяют наличие на рукавах слоя пыли, который не удаляется при регенерации; степень замазывания фильтровального материала влажной пылью; образование на поверхности материала твердых отложений, свидетельствующих о конденсации влаги; равномерность толщины пылевого слоя вдоль длины рукава; состояние фильтровального материала (наличие мелких отверстий, разрывов, износа на отдельных участках ткани вследствие трения или изгиба и т. д.). Внутренность фильтра осматривают для выявления пылевых отложений на стенках корпуса и бункера, особенно в углах и по краям. Метод очистки рукавов подбирают опытным путем с учетом свойств материала и пыли.

Многолетний опыт авторов показывает, что строгое соблюдение предлагаемых рекомендаций обеспечивает действующие нормы ПДВ и надежную защиту окружающей среды от пылевых выбросов при производстве строительных материалов.

**Ключевые слова:** эффективность пылеулавливания, нормальные и аварийные режимы, условия регенерации фильтров.

#### Список литературы

1. *Энтин С.В., Кравец Б.Б., Анжеуров Н.М., Красовицкий Ю.В.* Решение инженерных проблем при выборе систем пылеулавливания на основе мониторинга онкоэкологической ситуации в промышленном регионе // Тез. докл. Междунар. конф. и V Междунар. симпозиума молодых ученых, аспирантов и студентов «Инженерная защита окружающей среды». 16–18 мая 2001 г. М., 2001. С. 301–303.
2. *Алиев Г.М.-А.* Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок. М.: Металлургия, 1983. 295 с.
3. *Алиев Г.М.-А.* Эксплуатация аппаратов и систем на огнеупорных заводах. М.: Металлургия, 1977. 286 с.
4. *Алиев Г.М.-А.* Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок. М.: Металлургия, 1988. 320 с.
5. *Энтин С.В., Анжеуров Н.М., Асмолова Е.В., Красовицкий Ю.В.* Новые концептуальные подходы к сухому пылеулавливанию // Тез. докл. Междунар. конф. и V Междунар. симпозиума молодых ученых, аспирантов и студентов «Инженерная защита окружающей среды». 16–18 мая 2001 г. М., 2001. С. 297–299.
6. *Поляков В.А., Янковский С.С.* Измерение избыточного электрического заряда частиц, взвешенных в газовом потоке // Промышл. и санит. очистка газов. 1972. № 1. С. 21–23.
7. *Шведкий В.С., Ладыгичев М.Г.* Очистка газов: Справочное издание / М.: Теплоэнергетик, 2002. 640 с.

## Отличительные особенности интенсивных смесителей серии IMG

Интенсивные смесители серии IMG специально разработаны и адаптированы для приготовления высококачественной формовочной массы для силикатного кирпича (см. таблицу).

Смесители серии IMG имеют ряд отличительных особенностей.

**Смесительный инструмент** (рис. 1, 2), разработанный специально для очень высокой скорости вращения (линейная скорость стержня завихрителя составляет 35–40 м/с и более), что позволяет увеличить интенсивность воздействия на комки, образующиеся в процессе гашения в силосах, и дает возможность получить качественную и однородную формовочную массу, в том числе с пигментами.

Наличие двух **боковых скребков** и **двух донных скребков** (рис. 3), расположенных центрально-симметрично, по-

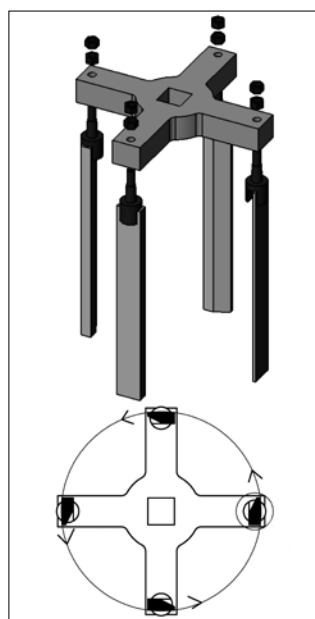


Рис. 1. Стандартный смесительный инструмент. Предназначен для первичного перемешивания силикатной смеси до силосов

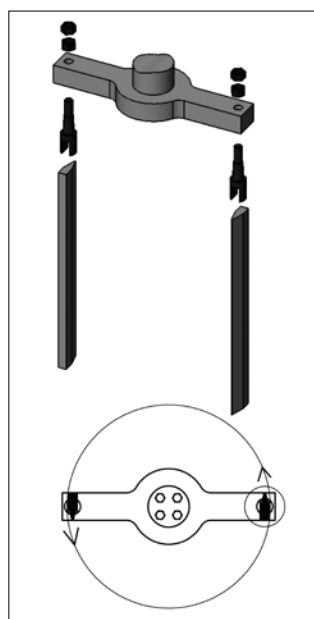


Рис. 2. Специальный смесительный инструмент для повышенной интенсивности перемешивания силикатной смеси после силосов

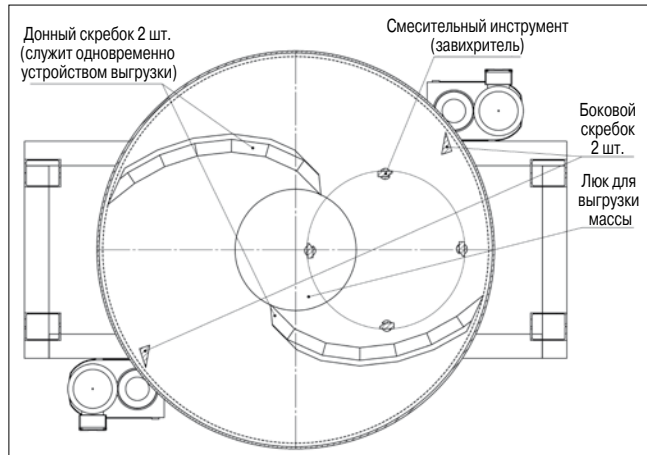


Рис. 3. Схема расположения боковых и донных скребков

### Характеристики интенсивных смесителей серии IMG

Тип смесителя	Емкость, л	Мощность завихрителя, кВт	Мощность привода резервуара, кВт	Масса, т	Скорость вращения корпуса смесителя, об/мин
IMG-900/75	900	75	11	4	20
IMG-1200/90	1200	90	15	5	20
IMG-1700/110	1700	110	22	6,9	15
IMG-2300/132	2300	132	22	8,5	15
IMG-3000/160	3000	160	30	10	15

зволяет более качественно производить очистку внутренней поверхности смесителя, обеспечивает балансировку моментов сопротивления, возникающих при вращении смесительного резервуара, а также обеспечивает очень быстрое опорожнение смесителя после завершения перемешивания. Донные скребки являются одновременно устройствами для выгрузки материала.

В конструкции смесителя **отсутствуют гидравлические приводы** и соответственно гидравлическая станция, что значительно упрощает обслуживание смесителя и повышает его надежность.

Смесители спроектированы таким образом, что за один оборот резервуара практически вся масса попадает в зону работы завихрителя и уже после первых оборотов обеспечивается очень высокая однородность смешиваемого материала. Высокой однородности также способствует отсутствие «мертвых зон» в смесителе, а также использование смесительного инструмента в виде вертикально расположенных стержней (рис. 1, 2).

По желанию заказчика смеситель может быть оборудован традиционным смесительным инструментом в виде пропеллера. Но в смесителях для приготовления силикатной массы инструмент с вертикальными стержнями более предпочтителен по сравнению со смесительным инструментом в виде пропеллера по следующим причинам:

- значительно меньше происходит налипание массы, так как стержни самоочищаются в процессе динамического удара на большой скорости, а у смесительного инструмента в виде пропеллера в месте крепления к центральному валу существует зона налипания силикатной массы;
- скорость движения вертикальных стержней является максимальной по всей длине, и поэтому обеспечивается высокое качество перемешивания;
- стержни имеют очень простую конструкцию, что позволяет изготавливать их в механическом цехе любого завода;
- простой и быстрый процесс замены стержней.

Смесительные стержни упрочнены твердосплавным материалом методом плакирования. Футеровка боковых стенок смесительного резервуара выполнена из износостойкой резины, а днище футеровано специальной износостойкой сталью. Рабочие кромки донных и боковых скребков изготовлены из твердосплавных пластин.

Смеситель требует минимального обслуживания, при этом гарантийный срок работы смесителя составляет 3 года без ограничения времени наработки.

**Ключевые слова:** смеситель IMG, силикатный кирпич.

## III Научно-техническая конференция «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий»

*В декабре 2010 г. в Санкт-Петербурге состоялась III Научно-техническая конференция «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий», которая традиционно проходит в рамках Международного конгресса «Энергоэффективность. XXI век».*

Конференция была посвящена разработке практических рекомендаций по повышению энергоэффективности жилищного, административного и промышленного строительства в соответствии с требованиями, изложенными в Федеральном Законе № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Актуальность данной темы для производителей строительных материалов обусловила активное участие в работе конференции руководителей и предприятий – членов Ассоциации производителей керамических стеновых материалов (АПКСМ), Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона (НААГ) и др.

Участники обсудили состояние нормативной документации по обеспечению энергоэффективности зданий, возводимых на территории Российской Федерации, были высказаны аргументированные предложения о необходимости ее актуализации и дополнения с учетом современных научно-технических, инженерных, архитектурных и градостроительных достижений.

**В.Г. Гагарин**, д-р техн. наук, член-корр. РААСН, заведующий лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН, представил новые принципы нормирования раздела «Теплозащита ограждающих конструкций» в СНиП 23-02–2003 в соответствии с требованиями федерального законодательства, которые участники конференции после обсуждения одобрили.

Активно обсуждался вопрос о критериях энергетической эффективности. В результате участники конференции согласились, что по аналогии с большинством стандартов стран Европы в качестве основного критерия энергетической эффективности следует установить для зданий единый комплексный показатель, – удельный расход тепловой энергии на отопление за отопительный период с учетом воздухообмена, теплопоступлений и ориентации зданий.

Целесообразность создания *Российской базы данных по теплопроводности теплоизоляторов* аргументировал в своем докладе **Н.А. Соколов**, д-р техн. наук, представитель РФ в рабочей группе по обеспечению единства измерений теплофизических величин WG 9 Международного бюро мер и весов, руководитель лаборатории теплофизических измерений ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.

Ряд докладов касался специфики региональных условий строительства: климатических проявлений, обеспеченности различными видами материалов, практических традиций проектирования и строительства. Было высказано консолидированное мнение о целесообразности разработки региональных методических документов по вопросам обеспечения энергоэффективности зданий, возводимых на территории субъектов Российской Федерации.

С большим вниманием встретили участники конференции доклад **С.Ю. Нацеевского**, ст. научного сотрудника ГП «НИИСМИ» (Киев, Украина) об использовании перлита в энергоэффективном строительстве. Он отметил, что в настоящее время происходит возврат к востребованности вспученного перлита, но на новом технологическом уровне. Например, исследования, проведенные НИИСМИ в 2009–2010 гг. показали, что применение технологии двухстадийной термообработки позволяет производить перлитовый песок с заданными свойствами из перлитового сырья Мухор-Талинского месторождения России, которое ранее считалось неперспективным. Благодаря внедрению новой технологии Россия может быть полностью обеспечена собственным перлитовым сырьем.

На основании обсуждения докладов и дискуссий было выработано Решение конференции, которое доведено до сведения Правительства Российской Федерации, Министерства регионального развития РФ, специализированных вузов, проектных и научно-исследовательских организаций.



В президиуме конференции В.Г. Гагарин (НИИСФ РААСН, Москва) и А.С. Горшков (СПбГПУ)



В конференции приняли участие руководители и ведущие специалисты НИИСФ РААСН, ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, КазГАСУ, СПбГАСУ, СПбГУ, СПбГПУ (Политехнический университет), ПГУПС, Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, ОАО «Газпром. промгаз», НИУПЦ «Межрегиональный институт окна», ОАО «ЛЕННИИПРОЕКТ», ОАО «Институт Новгородгражданпроект», ОАО «СПбЗНИИПИ», ООО «ПетроПерлит», ООО «Строительная изоляция», ЗАО «ТТМ», ОАО «КБ высотных и подземных сооружений» и др. Среди зарубежных участников присутствовали гости из Украины (ГП «НИИСМИ») и Дании (H+H International A/S)



А.Ю. Куренкова, директор НИУПЦ «Межрегиональный институт окна» представила доклад «Особенности проектирования светопрозрачных конструкций в соответствии с требованиями энергосбережения» и была активным участником дискуссии



А.П. Кочнев, канд. техн. наук, заведующий лабораторией экологии и акустики ОАО «ЛЕННИИПРОЕКТ» является убежденным сторонником применения для наружных ограждающих конструкций из поризованных крупноформатных керамических изделий. Это убежденность зиждется на многолетних исследованиях физико-механических и теплофизических свойств стен из поризованной керамики

# Российские дни сухих строительных смесей

В начале декабря 2010 г. в Москве состоялась I Международная научно-практическая конференция «Российские дни сухих строительных смесей». Организаторами конференции выступили Московский государственный строительный университет, Союз производителей сухих строительных смесей и Международное сообщество ССС drymix.info.

В конференции приняли участие около 100 организаций из различных регионов России, а также компании из Германии, Италии, Украины, Польши, Латвии, Белоруссии, Швейцарии, Израиля, Франции, Нидерландов и Турции.

За два дня работы конференции ее участникам было представлено 25 докладов на темы маркетинга и аналитики в отрасли ССС в России, Украине и Европе; технологий упаковки строительных смесей; оборудования для их производства; передовых решений в области теплоизоляции, химических добавок и базового сырья для ССС.

«Золотыми» спонсорами этого масштабного мероприятия выступили компании KNAUF, Wacker и Elotex, a Div. of Akzo Nobel. Кроме того, финансовую поддержку конференции оказали такие компании, как Air Products, Calucem, Dow Construction Chemicals, Evonik Goldschmidt, Kerneos, Lodige, Osnovit, ETC, Diamix, Sika, Beumer, Haver & Boecker, Mapei, MiG mbH, Munzing Chemie, Organik Kimya, Пласт Рифей, Сибелко, Строймеханика, Bang & Bonsomer.

Эта отрасль производства строительно-отделочных материалов в России является достаточно молодой: впервые сухие строительные смеси появились на российском рынке в конце 80-х гг. XX в. Как подчеркнул на открытии конференции президент drymix.info Ф. Леопольдер, «производить качественную продукцию в Германии достаточно просто: есть стандарты, законодательная база, большой опыт применения, проводятся научные исследования. В России эта часть строительной отрасли еще только начинает свой большой путь. Но перспективы широчайшие».

Применение сухих строительных смесей в системах наружного утепления с тонкими штукатурными слоями позволяет решить важную задачу современного строительства – повысить тепловую защиту зданий, сократить расходы тепловой энергии на обогрев. Применение подобных инновационных материалов позволит повысить энергоэффективность и сократить затраты.

На торжественном открытии конференции ректор МГСУ **В.И. Теличенко** подчеркнул, что университет рад

принять в своих стенах всех тех, кто развивает отрасль. Обладая современным исследовательским и испытательным оборудованием, университет помогает решать задачи в области разработки и испытаний современных материалов для строительства, в том числе сухих строительных смесей. Данная конференция также должна способствовать проведению научных исследований в области ССС и укреплению связей российских и зарубежных производителей.

Первый заместитель председателя комитета ГД по строительству и земельным отношениям **В.В. Панов** отметил, что Государственная дума должна законодательно вносить свою лепту в развитие российского рынка сухих строительных смесей, помогая решать задачи энергоэффективности, поставленные руководством страны.

**А.П. Пустовгар** (МГСУ), один из инициаторов проведения мероприятия, отметил, что основными целями конференции являются гармонизация нормативной базы, обмен знаниями с коллегами из других стран, интеграция отечественных производителей в мировой рынок сухих строительных смесей. Этому в немалой степени способствуют исследования, производимые в научных лабораториях МГСУ.

Доклады конференции можно условно разделить на несколько направлений: технологическое оборудование; сырье для производства ССС; системы материалов различных компаний и возможности их применения; состояние рынка ССС в различных странах.

В разделе технологического оборудования выступили в основном зарубежные производители упаковочной техники, смесителей. Отечественные машиностроители были представлены компанией «Строймеханика» (Тула), которая предложила вниманию участников конференции относительно новое направление в своей работе – отдельные виды оборудования и комплекс для производства ССС на базе смесителя СМ ТУРБОМИКС 500.

С помощью модифицирующих добавок можно регулировать свойства сухих строительных смесей. В докладе А.П. Пустовгара была рассмотрена эффективность при-



Ф. Леопольдер, президент drymix.info



Во время работы конференции

менения метаксаолина в ССС. Результаты работы показали, что растворы с этой добавкой обладают более высокой прочностью при сжатии, меньшими усадочными деформациями. Однако степень этих изменений не одинакова у образцов с метаксаолином разного происхождения.

Тонкомолотые наполнители являются важнейшей составляющей в составах для самоуплотняющихся полов. В настоящее время широко используются в основном тонкомолотые мраморная и известняковая мука. Специалистами МГСУ по заданию компании «Сибелко Рус» проведено исследование по возможности применения тонкомолотой кварцевой муки торговой марки Silverbond в самоуплотняющихся составах для устройства полов. С докладом об этих исследованиях выступил **С.В. Нефедов** (МГСУ).

Модифицирующие добавки и свойства растворов с их использованием представили Н. Бют (Münzing), Л. Хершке (Elotex) и др.

Для многих участников конференции ценной информацией стал доклад Ф. Леопольдера (drymix.info) о международном развитии, тенденциях и возможностях индустрии сухих строительных смесей. Глава и основатель международного сообщества ССС drymix.info подчеркнул, что ССС в настоящее время играют огромную роль в развитии мирового рынка строительных материалов. Смеси активно используются не только в отделочных работах, но все чаще обеспечивают теплоизоляцию и существенно увеличивают эффективность строительства. Во всем мире, где отмечаются наибольшие темпы роста появляются новые разработки для решения конкретных строительных задач, в том числе экологических.

С обзором состояния рынка ССС на Украине выступила **Р.Ф. Рунова** (Киевский университет строительства и архитектуры). До кризиса в 2008 г. на Украине выпускалось около 2 млн т смесей, что составляло до 40 кг на человека. По структуре потребления основной акцент приходится на материалы для отделки и облицовочных работ: клеи для плитки (70% цементных смесей); смеси для систем теплоизоляции (14% цементных смесей). В системе гипсовых материалов самыми популярными являются штукатурные и шпаклевочные составы. Использование других составов не имеет значительных объемов, что обусловливается многими причинами, но одна из главных – экономия на первичных затратах при строительстве или реконструкции. Еще одной важной причиной является несоблюдение действующих строительных норм, хотя на Украине разработан и действует государственный стандарт на производство ССС, а также строительные нормы на их применение. Однако проектные решения в основном разрабатываются без учета современных возможностей, открывающихся при применении ССС. Еще одна причина – низкий уровень квалификации специалистов разных уровней от рабочих до проектировщиков, не владеющих технологиями ССС.

Состояние рынка ССС в странах Балтии представил директор компании Sia Sakret **Ю. Гринвальдс**, который проанализировал докризисное состояние отрасли и изменение потребления цемента в условиях кризиса, а также показал причину возникновения спроса на системы скрепленной теплоизоляции на основе ССС в этих условиях.

Участники конференции смогли не только заслушать доклады, но и ознакомиться с выставкой, на которой многие фирмы-докладчики представили свои материалы – модифицирующие добавки, сухие смеси, оборудование для производства и контроля качества материалов.

Отличительной особенностью Российских дней сухих строительных смесей стала обширная география участников и возможность познакомиться и пообщаться с руководителем мирового сообщества сухих строительных смесей.



Знакомство с экспозицией выставки



В.В. Панов на стенде компании «Пласт Рифей» (Челябинская обл.)



Конференция – это место встречи коллег и единомышленников



Конференция – это возможность привлечь новых клиентов



**К 75-летию В.И. Ресина**

Владимир Иосифович Ресин родился 21 февраля 1936 г. в Минске. После окончания в 1958 г. Московского горного института по специальности «экономика и организация горной промышленности» был направлен на работу мастером треста «Ватутиноуголь» на Украине. С 1960 г. судьба В.И. Ресина связана с Москвой. Ступени профессионального роста В.И. Ресина в Москве – прораб, начальник участка, начальник строительного управления, главный инженер треста, управляющий трестом, заместитель начальника, начальник Главмосинжстроя, начальник Главмоспромстроя. За годы практической работы в строительном комплексе Москвы В.И. Ресин детально изучил инженерию, промышленно-гражданское строительство, индустрию строительных материалов, по словам самого Владимира Иосифовича, три кита, на которых зиждется строительный комплекс.

С 1990 г. В.И. Ресин возглавлял столичный строительный комплекс. Результат его высокопрофессиональной неутомимой деятельности – исторический облик столицы, гармонично вписавшийся в современный мегаполис с развитой инженерной и транспортной инфраструктурой, жилыми массивами, деловыми центрами, парками, благоустроенными дворами...

Главный предмет творческого приложения научного и инженерного потенциала В.И. Ресина – город как социально-экономическая и техноприродная система во взаимодействии многих подсистем городской инфраструктуры, согласованное функционирование которых обеспечивает устойчивое развитие города. Эта тематика нашла отражение в его 18 монографиях и многочисленных научных материалах.

В 1995 г. В.И. Ресин защитил докторскую диссертацию на тему «Системное регулирование функционально-пространственного города», в которой им обобщен зарубежный и отечественный опыт и разработаны модели и методы использования системных регуляторов для управления развитием крупных городов.

Многолетний труд заслуженного строителя России, заслуженного инженера России Владимира Иосифовича Ресина отмечен двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденами Дружбы народов, «Знак Почета», «За заслуги перед Отечеством» III степени, Государственной премией СССР, двумя премиями Совета Министров СССР, двумя Государственными премиями РФ, премией Президента РФ, медалями и научными наградами.

Многие годы Владимир Иосифович сочетал сложнейшую работу на посту руководителя комплекса архитектуры, строительства, развития и реконструкции Москвы с творческой, преподавательской и общественной деятельностью. С 2010 г. Владимир Иосифович является первым заместителем мэра Москвы.

*Мы гордимся, что с 1998 г. В.И. Ресин возглавляет редакционный совет журнала «Строительные материалы»®.*

*От лица всех авторов и читателей старейшего отраслевого общероссийского научно-технического журнала «Строительные материалы»® редакция и редакционный совет поздравляют Владимира Иосифовича Ресина с юбилеем и желают здоровья, дальнейших свершений и успехов.*

НОВЫЕ КНИГИ



**Монография**  
**«Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии»**  
 С.В. Федосов  
 Иваново: Изд-во «ПресСТО», 2010 г.  
 363 с.

Монография позволяет выполнить теплотехнические расчеты нестационарных полей температур и влагосодержания в ограждающих конструкциях зданий и сооружений, вызванных изменением параметров внешней среды, что является ее несомненным достоинством. Она отличается полнотой и последовательностью изложения материала, научной строгостью постановки задач, их решения и анализа полученных результатов. Книгу характеризуют также нацеленность на перспективу развития строительной индустрии и соответствие современным СНиП, СП и другим нормативным документам.

Особенностью рассматриваемых в монографии процессов является то, что в них, как правило, наблюдается взаимосвязанный тепломассоперенос (совместный перенос теплоты и влаги). Другой их отличительной чертой является то, что они протекают в многослойных конструкциях. Необходимо также отметить, что для решения поставленных задач часто недостаточно рассматривать стационарные процессы переноса, а приходится рассчитывать нестационар-

ные поля температур и влагосодержания в материалах. Нестационарность же процессов во многом усложняет математическое описание тепломассопереноса и требует определенной квалификации специалиста, занимающегося его анализом.

Следует отметить также тот факт, что в монографии даны аналитические решения задач, достоинством которых является прозрачность получаемых результатов, а также возможность выполнения предельных переходов, что часто имеет важное значение.

Монографию отличают фундаментальность, новизна представленного материала, четкость изложения и завершенность излагаемой темы. По своему значению она стоит в одном ряду с классическими монографиями по тепло- и массопереносу и займет достойное место в литературе по этому направлению.

Монография предназначена для научных работников и инженеров, специализирующихся в области разработки технологических процессов производства строительных материалов, изделий и конструкций, а также аппаратуры, машин и агрегатов для их осуществления. Она может быть полезна также студентам старших курсов строительных вузов, обучающихся по направлению «Строительство».

**С.П. Рудобашта,**  
*д-р техн. наук, заведующий кафедрой теплотехники и энергообеспечения МГАУ им. В.П. Горячкина, заслуженный деятель науки и техники РФ*

КОЛЛЕГИ

**К 65-летию В.Я. Толкачева**

*Редакция и редакционный совет поздравляют Валерия Яковлевича Толкачева, доктора технических наук, главного технолога цеха производства кирпича ООО «Сибирский элемент».*

В.Я. Толкачев родился 3 февраля 1946 г. в Свердловске. В 1969 г. он окончил теплоэнергетический факультет Красноярского политехнического института по специальности «промышленная теплоэнергетика». Прошел путь на производстве от инженера отдела главного энергетика до заместителя начальника паросилового цеха радиотехнического завода.

С 1975 г. В.Я. Толкачев связал свою жизнь с прикладной наукой в области технологии и тепловых процессов производства керамического кирпича (Красноярский филиал ВНИИСтром). В 1993 г. вернулся к производственной деятельности в качестве главного технолога производства по выпуску керамического кирпича. В 1990 г. защитил кандидатскую, а в 1998 г. докторскую диссертацию.

Им изучено более 800 месторождений глинистого сырья и других дисперсных материалов регионов России, опубликовано 186 научных работ, в том числе 14 монографий, получено 9 авторских свидетельств и патентов на изобретение. За внесенный вклад в изучение природного сырья в 2001 г. Валерий Яковлевич награжден почетной грамотой Законодательного собрания Красноярского края.

*Редакция и редакционный совет, коллеги желают Валерию Яковлевичу Толкачеву крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.*



НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**Новые приобретения Группы ЛСР**

ОАО «Гранит-Кузнечное» (предприятие группы ЛСР) заключило предварительный договор о приобретении 100% уставного капитала предприятия по производству гранитного щебня ООО «436 КНИ» (Выборгский район Ленинградской области). Сумма сделки составляет 961 млн р.

Вместе с приобретением ООО «436 КНИ» к Группе ЛСР также перейдет лицензия на право пользования недрами месторождения гнейсогранитов Пруды–Моховое–Яскинское с объемом разведанных запасов около 84 млн м<sup>3</sup>. На данном этапе разработка месторождения ведется на двух карьерах, при этом характеристики горной породы позволяют выпускать щебень, применяемый во всех видах строительства без ограничений.

Мощность существующего дробильно-сортировочного завода 436 КНИ составляет 1,1 млн м<sup>3</sup> в год. Таким образом, после данного приобретения производственная база

ОАО «Гранит-Кузнечное» будет насчитывать 9 заводов общей мощностью более 7 млн м<sup>3</sup> в год и 6 месторождений в Выборгском и Приозерском районах Ленинградской области.

Завод железобетонных изделий «Бетфор» (предприятие Группы ЛСР) приобрел 100% уставного капитала ЗАО «Каменск-Уральский завод ЖБИ». Сумма сделки составила 75 млн р.

Завод выпускает железобетонные изделия в основном для крупнопанельного домостроения. Проектная мощность предприятия по производству ЖБИ 70 тыс. м<sup>3</sup> в год, по производству товарного бетона – 10 тыс. м<sup>3</sup> в год. КУЗЖБИ был основан 75 лет назад, доля предприятия на рынке Свердловской области в 2010 г. составила 17%.

Кроме производственных мощностей в распоряжении КУЗЖБИ имеется собственный песчаный карьер, железнодорожная ветка и подвижной состав, а также 47 промышленных и административно-бытовых зданий.

*По материалам пресс-службы Группы ЛСР*

**Новая линия на заводе Корпорации ТехноНИКОЛЬ**

Завод ТехноНИКОЛЬ в г. Днепропетровске (Украина), производящий теплоизоляционные плиты из экструзионного пенополистирола, в начале февраля 2011 г. запустил новую производственную линию.

Ввиду увеличения спроса на качественные теплоизоляционные материалы на рынке Украины в корпорации ТехноНИКОЛЬ было принято решение о расширении производства. Инвестиции в строительство новой линии составили более 1 млн евро. Ежегодный выпуск продукции завода с введением в

эксплуатацию новой линии по производству экструзионного пенополистирола увеличивается до 200 тыс. м<sup>3</sup> в год.

На линиях завода корпорации ТехноНИКОЛЬ на Украине установлено оборудование немецкой компании Berstorff. Производственный процесс полностью автоматизирован. Вся выпускаемая продукция соответствует техническим условиям и стандартам Украины и ЕС. На территории завода функционирует лаборатория, осуществляющая многоступенчатый контроль качества экструзионного пенополистирола на всех этапах производства.

*По материалам корпорации ТехноНИКОЛЬ*

ИССЛЕДОВАНИЯ РЫНКОВ

**Производство дорожной и строительной техники**

Согласно готовому маркетинговому исследованию «Российский рынок дорожной и строительной техники» самую большую долю в структуре российского производства дорожной и строительной техники (по итогам 10 месяцев 2010 г.) в размере 34,1% занимают автокраны.

На втором месте находятся экскаваторы (26,4%), затем идут автогрейдеры (10,8%), автобетоносмесители и бульдозеры (по 10,6%), погрузчики строительные (6,7%), башенные краны (0,9%) в натуральном выражении. Рост объемов производства автокранов за 10 месяцев 2010 г. составил 212% по

сравнению с аналогичным периодом провального 2009 г. Наибольший рост в данной группе продукции пришелся на автобетоносмесители (262%), а наименьший – на бульдозеры (106%).

Максимальный объем производства автокранов в России составил 6862 шт., и произошло это в 2007 г. По предварительным данным, в 2010 г. общий объем производства составил около 2900 шт.

По оценкам экспертов, в ближайшие 2–3 года ожидается восстановление производства автокранов до уровня 5,5–6 тыс. шт. в год.

*По материалам «РБК. Исследования рынков»*

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до 4-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи и не содержать перечень всего ранее опубликованного автором, что перегружает объем статьи и часто является элементом саморекламы.

Кроме того, статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий. Статьи, направляемые в редакцию журнала «Строительные материалы»®, должны соответствовать следующим **требованиям**:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т.п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); распечаткой, лично подписанной авторами; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языке; подтверждением, что статья предназначена для публикации в 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)