

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ<sup>®</sup> №4

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

АПРЕЛЬ 2012 г. (688)



К проведению II Международной научно-практической конференции  
**«Возрождение крупнопанельного домостроения в России»**

Организаторы:



научно-технические журналы

Спонсор:



Партнеры:





# НОВЫЙ УРОВЕНЬ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

Реклама



Бетонораздатчик



Кассетные формы



Опалубка для Т-образных балок

CTT'2012

29.05. - 02.06.2012  
Москва (Россия)

[www.ctt-moscow.com](http://www.ctt-moscow.com)

Посетите  
наш  
стенд!

BakuBuild

17.10. - 20.10.2012  
Баку (Азербайджан)

[www.bakubuild.az](http://www.bakubuild.az)

Посетите  
наш  
стенд!

## КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУСТРИИ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

EBAWE является Вашим партнером при планировании, разработке и поставке как комплектного завода и оборудования линии циркуляции палет, включая систему управления CAS/CAM, так и отдельных элементов линий, таких как робота для установки опалубки, бетонораздатчика, оборудования для уплотнения и многое другое.

 **EBAWE**  
WE FORM YOUR CONCRETE

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

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

**Главный редактор**  
ЮМАШЕВА Е.И.

**Редакционный совет:**

РЕСИН В.И.  
(председатель)  
БАРИНОВА Л.С.  
БУТКЕВИЧ Г.Р.  
ВАЙСБЕРГ Л.А.  
ВЕРЕЩАГИН В.И.  
ГОНЧАРОВ Ю.А.  
ГОРИН В.М.  
ЖУРАВЛЕВ А.А.  
КОЗИНА В.Л.  
КРАСОВИЦКИЙ Ю.В.  
КРИВЕНКО П.В.  
ЛЕСОВИК В.С.  
ОРЕШКИН Д.В.  
ПИЧУГИН А.П.  
ФЕДОСОВ С.В.  
ФИЛИППОВ Е.В.  
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](mailto:mail@rifsm.ru)  
<http://www.rifsm.ru>

## Крупнопанельное домостроение

В.Н. ЯРМАКОВСКИЙ, П.Н. СЕМЕНЮК, В.В. РОДЕВИЧ, И.В. ЮДИН

### Полифункциональные легкие бетоны для ресурсоэнергосберегающего индустриального домостроения..... 4

В статье представлены разработки последних лет по полифункциональным легким бетонам для строительства крупнопанельных и каркасно-панельных зданий в России. Основное внимание уделено конструкционным легким бетонам для элементов несущего каркаса зданий. Представлены также разработки по особо легкому теплоизоляционному бетону для среднего (утепляющего) слоя трехслойной наружной стеновой панели. Дана классификация новых модификаций конструкционных легких бетонов, в т.ч. типа High Performance (по терминологии fib). Выполнен анализ преимуществ конструкционных легких бетонов в основных физико-механических и теплофизических свойствах в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами. В качестве примеров эффективного использования легких бетонов в ресурсоэнергосберегающих конструктивных системах крупнопанельных и каркасно-панельных зданий приводится опыт работы таких крупных предприятий стройиндустрии как Томская домостроительная кампания и Новочебоксарский домостроительный комбинат.

В.П. ВЫЛЕГЖАНИН, В.А. ПИНСКЕР

### Составные панели из автоклавного газобетона..... 12

Показано, что в номенклатуре продукции заводов по производству автоклавного газобетона, построенных в последние 10 лет, преобладают мелкие стеновые блоки, что обусловило переизбыток этого вида материала на рынке. Обосновано, что выпуск на существующем оборудовании крупных блоков и панелей, в том числе армированных может существенно расширить области применения автоклавного газобетона, сократить сроки строительства объектов, снизить их себестоимость. Приведены характеристики крупноразмерных газобетонных изделий.

В.Н. МОРГУН, А.Ю. БОГАТИНА, Л.В. МОРГУН, П.В. СМЕРНОВА

### Конструкционные возможности фибропенобетона неавтоклавного твердения..... 14

Приведены результаты исследования деформативных и прочностных свойств пенобетонов неавтоклавного твердения, дисперсно-армированных синтетическими волокнами. Показано, что фибропенобетоны могут успешно применяться в армированных изгибаемых элементах несущих строительных конструкций. Приведен пример использования фибробетона плотностью 400–500 кг/м<sup>3</sup> для изготовления ограждающих конструкций и перемычек, а фибропеножелезобетона плотностью 600 кг/м<sup>3</sup> – для карнизных элементов. Сделан вывод о перспективности расширения области применения фибропенобетона в крупноразмерных изделиях – плит и панелей.

Л.М. КОЛЧЕДАНЦЕВ, О.Г. СТУПАКОВА, Р.Р. МУСТАФИН

### Применение разогретых бетонных смесей для повышения прочности стыка сборно-монолитных зданий..... 17

Показана перспективность строительства сборно-монолитных жилых зданий социального назначения. Применение разогретых бетонных смесей для замоноличивания несущих стыков позволяет ускорить набор прочности бетона стыка, улучшить его качество. Приведены результаты экспериментальных исследований, доказывающих возможность получения стыка, равнопрочного бетону сопрягаемых элементов.

О.В. БОГОМОЛОВ

### Как сократить затраты на тепловую энергию?..... 20

На основе анализа паросилового хозяйства предприятий ЖБМ выявлен высокий перерасход технологического пара, обусловленный объективными (устаревшее парогенерирующее оборудование) и субъективными (устаревшая нормативная база) причинами. Приведены преимущества применения парогенераторов серии ST, обеспечивающие гарантированное снижение затрат на тепловую энергию для производства ЖБИ на 50–70%.



Б.И. ТИХОМИРОВ, А.Н. КОРШУНОВ

## **Линия безопалубочного формования – завод КПД с гибкой технологией** ..... 22

Предложены два варианта конструкции здания, каркас которого в составе несущих стен и перекрытий можно изготавливать на линиях безопалубочного формования. Первый вариант – здание с минимальным набором сборных конструктивных элементов, из которых собирается каркас здания. В этом варианте достаточно одной формирующей насадки для производства стен, перекрытий и сборно-монолитных обвязочных поясов, при этом ширина изделия 1,2 и 1,5 м. Второй вариант – здание, в котором крупные стеновые блоки наружных стен не имеют в своем составе, в торце стенового блока ступеньки для монтажного опирания на нее стеновых блоков вышележащего этажа, что упрощает заводское производство крупных наружных стеновых блоков, которые имеют два плоских торца. Здание собирается в единую конструкцию за счет монолитных обвязочных поясов в месте поэтажного стыка стен и перекрытия, а также горизонтальных и вертикальных монолитных каналов между ними. Скорость монтажа здания за счет конструкций узлов равна скорости монтажа полносборного здания.

М.Ю. ГРАНИК, П.И. ГРИГОРЬЕВА, Н.В. ПЛАКСЕНКО

## **Механизированное изготовление декоративных ковров для заводской отделки крупнопанельных зданий** ..... 30

Сформулированы основные принципы технологии изготовления декоративных ковров для заводской отделки стеновых панелей. Описана опытная формовочная установка для механизированного изготовления ковров. Показано, что организация производственного участка на предприятии полносборного домостроения упрощает укладку фактурного слоя на формовочных постах, обеспечивает повышение качества продукции.

## **Композитное будущее КПД (Информация)** ..... 35

С.В. ФЕДОСОВ, В.И. БОБЫЛЕВ, А.М. ИБРАГИМОВ, В.К. КОЗЛОВА, А.М. СОКОЛОВ, А.И. СОКОЛЬСКИЙ

## **Математическое моделирование набора прочности бетоном при электротепловой обработке** ..... 36

Приведено дальнейшее развитие представленной ранее математической модели процесса гидратации и изменения во времени предела прочности бетона при сжатии при повышенной температуре (при ее фиксированном значении), основанное на использовании уравнения Аррениуса. В результате выполненных усовершенствований эта модель позволяет прогнозировать рост механической прочности бетона в условиях изменения температуры во времени в соответствии с заданным режимом (графиком) электротепловой обработки. Это открывает широкие возможности для исследования показателей электротепловой обработки железобетонных изделий теоретическими методами с использованием средств компьютерного моделирования.

### Юбилеры отрасли

## **ВСГУТУ – ведущий научно-образовательный центр Восточной Сибири и Дальнего Востока** ..... 42

## **15 лет деятельности Некоммерческой организации «Хризотилвая ассоциация»: итоги и перспективы** ..... 46

### Материалы и конструкции

В.В. ПРОНЬ, С.М. ВОСТРОКНУТОВ, А.Ю. САМОХИН, Е.А. МАЛЫХИНА

## **Инновационные разработки по укреплению земляного полотна в дорожном строительстве** ..... 50

Рассматривается новая конструкция и технология укрепления земляного полотна автодорог, вдольтрассовых проездов, промышленных площадок. Приведен эффект применения геоматриц ГМ на различных слабых, неустойчивых или нарушенных грунтах (сыпучих, талых, пучинистых, мерзлых, вечномерзлых и т. д.), в том числе на подтопляемых, заболоченных и обводненных участках (с большой высотой залегания грунтовых вод), болотах I, II и III типов с грунтами, имеющими влажность более допустимых значений.

И.Я. ГНИП, С. ВЕЯЛИС, С. ВАЙТКУС

## **Теплопроводность полистирольного пенопласта (ВПС) при средней температуре +10°C** ..... 56

Представлены результаты исследования теплопроводности пенополистирольных плит при средней температуре +10°C. Исследованы плиты типов ВПС 50 – ВПС 250 при изменении их плотности от 14 до 38 кг/м<sup>3</sup>. Номинальная толщина плит 50 и 100 мм. Измерение коэффициента теплопроводности выполнено согласно требованиям ISO 8301, EN 12667, EN 12939 на приборе FOX 304 (Laser Comp., США). Предложены эмпирические уравнения для определения коэффициента теплопроводности по результатам определения плотности полистирольно-пенопластовых плит при их толщине 50 и 100 мм.

В.Ю. ЧУХЛАНОВ, М.А. ИОНОВА

## **Полиуретановое покрытие, модифицированное алкоксисиланом с повышенными эксплуатационными свойствами** ..... 60

Работа посвящена изучению влияния алкоксисилана на однокомпонентную полиуретановую композицию и свойства покрытий на ее основе – внешний вид, вязкость, водопоглощение, термостойкость получаемого покрытия. Полиуретановое покрытие, полученное с применением разработанной композиции, предполагается использовать для защиты строительных конструкций от воздействия различных неблагоприятных факторов.



В.А. ВОЙТОВИЧ, А.А. ЯВОРСКИЙ

**Реалии и перспективы силикатного кирпича ..... 62**

Рассмотрены основные характеристики современного силикатного кирпича. Показаны особенности кладки из пустотного силикатного кирпича, ее теплотехнические характеристики и показатели водопоглощения. Продемонстрированы основные декоративные и экологические свойства силикатного кирпича. Описаны современные и перспективные технологии производства кирпича и сырьевых материалов.

**Результаты научных исследований**

Ю.В. КРАСОВИЦКИЙ, С.Ю. ПАНОВ, Е.В. РОМАНИЮК, Е.В. АРХАНГЕЛЬСКАЯ, З.С. ГАСАНОВ

**Коагуляция частиц дисперсной фазы в пылегазовых потоках при производстве строительных материалов ..... 66**

Рассмотрены различные виды коагуляции частиц мелкодисперсной фазы в пылегазовых технологических потоках и аспирационных выбросах при производстве строительных материалов и механизмы использования энергосберегающего пылеулавливания.

И.А. ГОРОШКОВ

**Самоходные дробильные комплексы Terex Finlay для производства нерудных материалов ..... 68**

В 1958 г. основатель компании Finlay Джон Финлей организовал производство мобильных комплексов, первым в мире воплотив идею создания самоходного дробильно-сортировочного оборудования для промышленности нерудных строительных материалов. Приведены основные преимущества самоходных дробильно-сортировочных комплексов Terex Finlay и области их применения. Даны основные принципы подбора оборудования в зависимости от поставленных задач, вида сырья. Приведены основные технические характеристики самоходных агрегатов (щечковых, конусных и роторных дробилок).

Г.Д. ФЕДОРОВА, А.Т. ВИНОКУРОВ, О.Н. КРАВЦОВА, А.М. ТИМОФЕЕВ

**Экспериментальное исследование прочности бетона с комплексной добавкой ..... 70**

Приведены результаты экспериментальных исследований прочности бетона на местных материалах с комплексной добавкой НН+ПФМ-НЛК, подвергнутого замораживанию на ранних стадиях твердения.

Е.Г. ВЕЛИЧКО

**Структурные зависимости морозостойкости ячеистого бетона ..... 73**

Рассмотрены проблемы морозостойкости наружных стеновых конструкций из бетонных материалов и влияние на нее различных факторов. Показана необходимость использования при определенных условиях первичной и вторичной защиты стеновых конструкций для повышения их долговечности.

Е.В. КОРОЛЕВ, А.С. ИНОЗЕМЦЕВ

**Эффективность физических воздействий для диспергирования наноразмерных модификаторов ..... 76**

Представлены результаты исследования влияния ультразвуковой и тепловой обработки на дисперсный состав астраленов в водных растворах. Показано, что рассмотренные виды обработки не позволяют провести диспергирование углеродсодержащих наномодификаторов: средний размер частиц варьируется в диапазоне 0,4–0,6 мкм, а содержание фракции с размером <100 нм для ультразвуковой обработки не превышает 15% и для тепловой обработки – 5%.

А.В. САНДУЛЯК, Д.В. ОРЕШКИН, А.А. САНДУЛЯК, Д.В. ЕРШОВ, В.А. ЕРШОВА

**Результаты нелимитированного сканирующего магнитоконтроля ферропримесей кварцевого песка ..... 80**

На примере кварцевого песка показано, что при реализации метода магнитоконтроля ферропримесей сырья стройиндустрии (как метода контроля работы магнитных сепараторов) необходимо прибегать к получению массово-операционной характеристики и ее функциональной легализации. В этом случае возможной становится альтернативная (заменяющая последующие операции контроля без ограничений их числа) прогнозная экстраполяция – с получением значений общей массы и массовой доли ферропримесей.

С.Н. ЛЕОНОВИЧ, Г.Л. ЩУКИН, А.Л. БЕЛАНОВИЧ, В.П. САВЕНКО, С.А. КАРПУШЕНКОВ

**Формирование пористой структуры силикатных теплоизоляционных материалов ..... 84**

Приведены результаты исследования формирования твердосиликатной структуры из сырьевой смеси и изучено влияние различных технологических факторов на получение теплоизоляционных материалов при воздействии температуры. Проанализированы полученные и литературные данные, которые указывают на сложность термической поризации жидко-силикатной композиции и формирования поризованных щелочно-силикатных материалов, а также данные, которые характеризуют технологические процессы получения теплоизоляционных материалов с заданными эксплуатационными свойствами. Полученные результаты представляют практический интерес не только для технологов, но и для разработчиков современных производств силикатных теплоизоляционных материалов.

**Новости ..... 88**

В.Н. ЯРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук, почетный член РААСН, заведующий лабораторией, НИИСФ РААСН (Москва); П.Н. СЕМЕНЮК, канд. техн. наук, технический директор, Томская домостроительная компания (ТДСК); В.В. РОДЕВИЧ, канд. техн. наук, директор, Стройтехинновации ТДСК; И.В. ЮДИН, главный инженер, Новочебоксарский ДСК (Республика Чувашия)

## **Полифункциональные легкие бетоны для ресурсоэнергосберегающего индустриального домостроения**

Анализ мирового опыта решения актуальных проблем энергоресурсосбережения при строительстве и эксплуатации зданий, в частности крупнопанельного домостроения, повышения долговечности их конструктивных систем, надежности и безопасности в эксплуатации показывает, что одним из наиболее рациональных и реальных путей является комплексное использование в этих системах легких бетонов различного назначения.

Под понятием «комплексное использование» имеется в виду не только традиционное использование легких бетонов в ограждающих конструкциях зданий, но и в несущих конструкциях, т. е. полное использование таких полифункциональных бетонов в конструктивно-технологической системе здания.

За последние 10–20 лет НИИСФ РААСН совместно с НИИЖБ, с участием других организаций (Самарский ГАСУ, ЗАО «НИИКерамзит», ОАО «Иркутскзолотопроduct», Уральский институт металлов) разработали широкую номенклатуру полифункциональных легких бетонов различных модификаций [1–3], от особо легких теплоизоляционных марок по плотности D150–D250 (так называемых бетонов-утеплителей) до конструктивных высокопрочных (классов по прочности до B60 включительно) и высокодолговечных (марки по морозостойкости до F1500) – типа High Performance (по классификации Международной федерации по конструкционному бетону – fib) [4].

Эти бетоны должны изготавливаться на пористых заполнителях в основном новых видов или модификаций, производимых преимущественно на базе продуктов переработки многоотнажных техногенных отходов (ме-

таллургии и тепловой энергетики), а также на основе пористых горных пород вулканического происхождения. Использоваться должны также и такие традиционные виды пористых заполнителей, как керамзит, но преимущественно новых модификаций – с улучшенными строительно-техническими свойствами [1]. Это особо легкий керамзит (марки по насыпной плотности 200) для высокопористых беспесчаных конструкционно-теплоизоляционных бетонов; высокопрочный керамзит (марок по прочности П300–П350) для бетонов типа High Performance. Модификация структуры цементно-песчаной матрицы легких бетонов производится активными минеральными добавками – микрозаполнителями или химико-минеральными добавками различных новых видов в зависимости от назначения бетона [1, 3].

Разработанные технологии модифицированных легких бетонов позволили существенно повысить их качественный уровень и сделать их конкурентоспособными в сравнении с другими видами современных строительных материалов аналогичного назначения.

### **Основные строительно-технические свойства модифицированных конструкционных легких бетонов (КЛБ)**

Основные характеристики новых модификаций КЛБ в сравнении с традиционным видом конструкционного легкого бетона – керамзитобетоном на рядовом керамзите приведены в табл. 1.

Разработанные новые технологии позволили существенно улучшить показатели эксплуатационного каче-

Таблица 1

**Конструкционные легкие бетоны новых модификаций в сравнении с традиционным конструкционным керамзитобетоном**

Традиционный легкий бетон на рядовом керамзитовом гравии марок по прочности П100–П125 с насыпной плотностью $\gamma_n = 450\text{--}550 \text{ кг/м}^3$ и на кварцевом песке с $M_{кр} = 2,5$	Мелкозернистые бетоны при умеренной ( $V_b < 12\%$ ) поризации		Бетоны на крупном пористом заполнителе различных видов и на кварцевом или шлаковом песке		
	на обжиговом керамзитовом песке с насыпной плотностью $\gamma_n = 600\text{--}700 \text{ кг/м}^3$	на гранулированных шлаках от выплавки ферросплавов (силикомарганца и ферромарганца) $\gamma_n = 650\text{--}750 \text{ кг/м}^3$	на пористом гравии из переработанных шлаковых расплавов доменного и ферросплавного производств (П150–П250, $\gamma_n = 650\text{--}800 \text{ кг/м}^3$ ) и шлак./кварц. песке	на высокопрочном керамзитовом гравии (П300–П350, $\gamma_n = 750\text{--}800 \text{ кг/м}^3$ ) и кварц. песке с $M_{кр} = 2,5$	на безобжиговом зольном гравии (П150–П250 при $\gamma_n = 650\text{--}750 \text{ кг/м}^3$ ) и шлак./кварц. песок
Класс бетона по прочности при сжатии B15–B25 (по ГОСТ 25820–2000 – max B20), марка по плотности D1600–D1700	Класс бетона по прочности B12,5–B15, марка по плотности D1150–D1250	Класс бетона по прочности B12,5–B15, марка по плотности D1250–D1350	Класс бетона по прочности B20–B50 (по ГОСТ 25820 – max B22,5), марка по плотности D1650–D1900	Класс бетона по прочности B40–B60 (по ГОСТ 25820 – max B35), марка по плотности D1800–D1900	Класс бетона по прочности B20–B50, марка по плотности D1650–D1850
<b>Примечание.</b> Марки по морозостойкости модифицированных легких бетонов классов B22,5–B50 соответственно от F200 до F1500 включительно, марки по водонепроницаемости от W4 до W20 включительно.					



ства КЛБ, повысить их конкурентность в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами, в том числе для каркасов каркасно-панельных жилых зданий, значительно расширить возможные области применения. Последнее обусловлено рядом значимых преимуществ основных *строительно-технических свойств модифицированных КЛБ*. Они систематизированы в табл. 2 с указанием конкретного эффекта от реализации определенных преимуществ КЛБ в конструкциях при замене в них равнопрочного тяжелого бетона.

Кроме перечисленных в табл. 2 преимуществ КЛБ в сравнении с равнопрочным тяжелым бетоном, которые можно определить количественно, весьма важно отметить и следующие:

– исключение развития в легком бетоне такого опасного и характерного для тяжелого бетона вида внутренней коррозии, как щелочная коррозия, вызываемая взаимодействием щелочных оксидов цемента с реакционно-способным (аморфным) кремнеземом крупного заполнителя из плотных горных пород; последний практически отсутствует в искусственных пористых заполнителях;

– возможность рациональной утилизации в легких бетонах доступных и дешевых многотоннажных техногенных отходов, прежде всего металлургии и топливной энергетики, путем переработки их по экологически чистым и низкоэнергетичным технологиям в пористые заполнители; это обуславливает относительно низкую энергоемкость и себестоимость легких бетонов в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами на природных плотных заполнителях.

Максимальные преимущества в строительно-технических свойствах (табл. 2) в комплексе с наилучшими технико-экономическими показателями производства модификаций КЛБ, приведенных в табл. 1, имеет конструкционный легкий бетон на пористом шлаковом гравии (ПШГ). Малоэнергетичная и экологически чистая технология производства ПШГ разработана НИИЖБ совместно с Уральским институтом черных металлов, запатентована, внедрена в 1999 г. на Новоліпецком металлургическом комбинате. Технологическая линия успешно действует в настоящее время, проектируется вторая технологическая линия. Общая производительность составит более 200 тыс. м<sup>3</sup>/год заполнителя для легких бетонов двух классов по назначению.

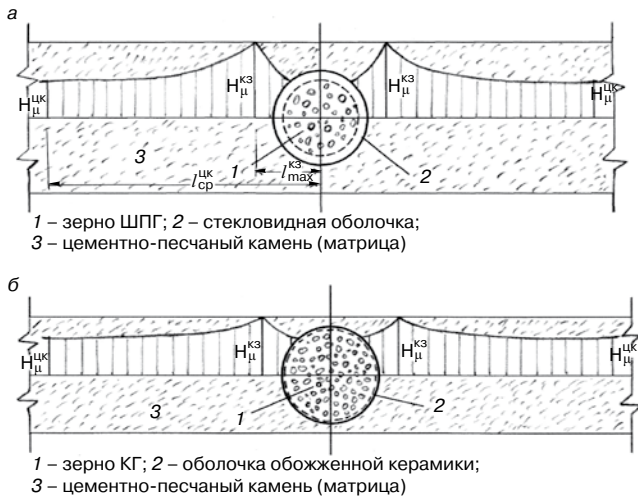
Первый фактор, а именно прочность контактной зоны, является по существу определяющим в объяснении многих из перечисленных в табл. 2 преимуществ свойств КЛБ в сравнении с равнопрочным тяжелым бетоном, в частности преимуществ в повышенных уровнях граничной области микротрещинообразования бетона, в морозостойкости и водонепроницаемости легкого бетона.

Важное значение имеет также преимущество КЛБ по сравнению с тяжелым бетоном в близости значений коэффициента линейного температурного расширения его составляющих (цементно-песчаного камня и зерен крупного пористого заполнителя). Это способствует повышению сопротивляемости КЛБ знакопеременным температурным воздействиям, а также воздействию высокой температуры. Относительная близость величин модулей упругости этих составляющих легкого бетона ( $E_3^6/E_{рч}^6 \approx 1$ , где  $E_3^6$  – модуль упругости зерна заполните-

Таблица 2

Основные преимущества модифицированных конструкционных легких бетонов классов по прочности при сжатии В15–В50 в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами

Свойства	Преимущества	Эффект
Плотность	Меньше на 20–50%	Снижение массы конструкций, зданий, сооружений – сокращение расходов бетона, арматуры, уменьшение осадки здания
Уровень нижней границы области микротрещинообразования	Больше на 0,08–0,19 $R_{пр}$ , или на 22–35%	Выше граница перехода линейной ползучести в нелинейную; отсюда больше эффективность преднапряжения арматуры в конструкциях. Выше на 20–30% предел выносливости бетона при действии многократно повторных нагрузок сжатия, меньше на 16–23% виброползучесть
Уровень верхней границы области микротрещинообразования	Больше на 0,12–0,16 $R_{пр}$ , или на 16–25%	Выше предел длительной прочности бетона
Коэффициент динамического упрочнения Пределная деформативность в режиме ударного нагружения	Больше на 17–25%  Больше на 15–26%	Выше ударная вязкость – меньше относительное количество разрушающихся оголовков забиваемых свай. Выше долговечность свайных ростверков зданий
Морозостойкость Водонепроницаемость	Больше на 2–5 марок Больше на 1–3 марки	Увеличение долговечности конструкций и надежности зданий и сооружений в эксплуатации
Коэффициент теплопроводности	Меньше в 2,5–3,5 раза (при $\gamma_0^{лб} = 1200–1800$ кг/м <sup>3</sup> , $\lambda_0^{лб} = 0,36–0,65$ Вт/(м·°С) против тяжелого бетона с $\gamma_0^{тб} = 2400–2500$ кг/м <sup>3</sup> , $\lambda_0^{тб} = 1,5–1,6$ Вт/(м·°С))	Сокращение до 25% теплопотерь через наружные стены зданий в местах сопряжений с несущими конструкциями, снижение теплоотдачи здания. Уменьшение негативного эффекта снижения теплотехнической однородности наружных стен зданий
Стойкость к огневому воздействию ( $T_d$ )	Больше на 0,3–0,5 ч	Увеличение предела огнестойкости конструкций по несущей способности, повышение пожаробезопасности здания
<p>Условные обозначения: <math>R_{пр}</math> – призмочная прочность бетона; <math>\gamma_0^{лб}</math> и <math>\lambda_0^{лб}</math> – соответственно плотность и коэффициент теплопроводности легкого бетона в сухом состоянии; <math>\gamma_0^{тб}</math> и <math>\lambda_0^{тб}</math> – то же, тяжелого бетона.</p> <p><b>Примечания:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Данные по разнице в свойствах приведены в интервале в зависимости от классов бетонов по прочности при сжатии и от вида применяемого в легких бетонах пористого заполнителя.</li> <li>В соответствии с результатами исследований В.Г. Гагарина [5] по дополнительным удельным теплопотерям (<math>Q_d</math>) через теплопроводные включения наружных стен в виде кладки блоков из ячеистого бетона с <math>\rho_0 = 400</math> кг/м<sup>3</sup> с облицовкой из кирпичной кладки величина теплопотерь <math>Q_d</math> через стык наружной стены с перекрытием из тяжелого бетона близка к величине суммарных теплопотерь через вертикальные кладочные швы, перевязку кладок, армирование, горизонтальные швы из строительного раствора и составляет 5,31 Вт/м<sup>2</sup>.</li> </ol>		



**Рис. 1.** Эпюры средних значений микротвердости ( $H_{\mu}$ ) затвердевшего ( $\tau = 28$  сут НВТ) цементно-песчаного камня ( $H_{\mu}^{цк}$ ) – растворной части легкого бетона класса по прочности на сжатие В30 и ее контактной зоны ( $H_{\mu}^{кз}$ ) с зерном крупного пористого заполнителя: а – условный фрагмент бетона на пористом шлаковом гравии (ШПГ); б – условный фрагмент бетона на керамзитовом гравии (КГ);  $I_{цк}^{кз}$  – расстояние от центра зерна крупного заполнителя до осредненной условной ординаты эпюры микротвердости контактной зоны;  $I_{цк}^{кз}$  – то же, до осредненной ординаты условной центральной оси между зернами крупного заполнителя

ля в бетоне, а  $E_{рч}$  – модуль упругости затвердевшей растворной части бетона) определяет повышенную сопротивляемость его к воздействию и многократно повторных статических и динамических (ударных) нагрузок: разрушение бетона при этих нагрузках начинается прежде всего с разрушения зоны контакта крупного заполнителя и цементно-песчаного камня.

Доминирующим влиянием фактора повышенной прочности контактной зоны определяются и вышеотмеченные преимущества основных строительнотехнических свойств ( $E$ ,  $R_p$ ,  $R_T^0$ ,  $R_T^v$ ,  $F$  и  $W$ , см. табл. 2) конструкционного легкого бетона на пористом шлаковом гравии в сравнении с равнопрочными не только тяжелым бетоном на природных плотных заполнителях, но и с равнопрочным керамзитобетоном. Последнее подтверждают приведенные на рис. 1 эпюры микротвердости  $H_{\mu}$ , замеренной с помощью прибора ПМТ-3 с алмазной пирамидкой в контактной зоне зерна крупного заполнителя с затвердевшей растворной частью бетона  $H_{\mu}^{кз}$  и непосредственно в цементно-песчаном камне  $H_{\mu}^{цк}$  – растворной части между зернами крупного заполнителя.

Максимальная величина микротвердости в контактной зоне  $H_{\mu}^{кз}$  обусловлена следующим характерным для КЛБ технологическим условием:  $V_{ист}/Ц < V_3/Ц$ , где  $V_{ист} = V_0 - V_3$  ( $V_0$  – общая вода затворения бетонной смеси;  $V_3$  – вода, поглощенная зерном пористого заполнителя в процессе приготовления смеси, которая в процессе твердения бетона мигрирует обратно в растворную часть и тем самым способствует благоприятным условиям дальнейшего твердения бетона и формирования оптимальной структуры).

Осредненные значения  $H_{\mu}^{кз}$  составили в проведенных экспериментальных исследованиях для легкого бетона на ШПГ – 1580 кгс/мм<sup>2</sup>; для керамзитобетона – 1255 кгс/мм<sup>2</sup>, а осредненные значения  $H_{\mu}^{цк}$  – соответственно 860 и 880 кгс/мм<sup>2</sup>. Таким образом, величина отношения  $H_{\mu}^{кз}/H_{\mu}^{цк}$  у бетона на шлаковом гравии выше в сравнении с традиционным керамзитобетоном более чем на 25%.

Последнее определяют следующие процессы и условия образования и сохранения плотной и прочной контактной зоны в легком бетоне на пористых заполните-

лях из металлургических шлаков, в частности доменного производства:

а) гидратация минералов шлака (мелилита и др.) оболочки зерна заполнителя в присутствии сильного активатора (цементного клинкера) → образование высокопрочных гидрогранатов и гидросиликатов кальция  $C_2SH(A)$  и  $CSH(B)$ ;

б) преимущественное содержание в оболочке зерна заполнителя шлаковых стекол наиболее гидравлически активной изотропной разновидности системы  $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO-Fe_2O_3$ ;

в) близость значений коэффициентов линейного температурного расширения компонентов бетона, определяемая близостью значений минералогического состава цементного камня и металлургического шлака, из расплавов которого производится пористый заполнитель.

## Области и опыт применения полифункциональных легких бетонов

В бывшем СССР была создана *производственная база*, обеспечивающая почти в полном объеме строительство зданий различного назначения с комплексным применением легких бетонов, в основном керамзитобетона и шлакопемзобетона. Эта база, катастрофически сокращившаяся в годы перестройки, нуждается в настоящее время в ускоренном развитии, в модернизации технологических линий и оборудования. Об актуальности этой задачи как одной из важнейших в развитии строительного комплекса страны, и в частности в развитии крупнопанельного домостроения, свидетельствуют явные преимущества применения в конструктивных системах зданий легких бетонов, особенно новых модификаций, в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами.

Модернизация в таком направлении строительного комплекса страны и стройиндустрии в целом будет способствовать эффективному решению проблемы энергоресурсосбережения при возведении и эксплуатации зданий, повышения их надежности.

В строительных комплексах стран Западной Европы, Скандинавских стран, США, Канады доля КЛБ составляет, по данным fib [4–6], уже более 35% и наблюдается явная тенденция к ее увеличению. Более 1/3 объемов производства пористых заполнителей составляют продукты переработки по малоэнергоёмким технологиям зол и шлаков тепловой энергетики, металлургических шлаков и отходов углеобогащения. Соответственно сокращаются объемы разработок карьеров для производства нерудных строительных материалов, и в частности плотных заполнителей для тяжелого бетона.

В информационном материале fib сообщается об эффективном использовании легких бетонов в достаточно больших объемах в США, странах континентальной Европы, Австралии и др. в сборных конструкциях следующих видов: конструкции вертикальных рам, преднапряженные стропильные фермы, консольные элементы кровли пролетом до 30 м, большепролетные балки, перекрытия, плиты покрытий, крупноразмерные оболочки покрытий различной конфигурации.

В международном стандарте на конструкционный легкий бетон в рекомендациях по проектированию конструкций из легких бетонов, разработанных целевой группой Task Group 8.1 fib с участием НИИЖБ [4, 7], нормируются прочностные и деформативные свойства таких бетонов класса по прочности при сжатии уже до LC 88, что соответствует марке бетона M1000. В разработанном НИИЖБ ГОСТ 25820–2000 «Легкие бетоны. Технические условия» [8] нормирование КЛБ ограничивается пока классом В40 включительно. В НИИСФ



начата работа по развитию стандарта в части нормирования прочностных и деформативных характеристик легких бетонов классов до В60 включительно, причем дифференцированно по основным видам крупного пористого заполнителя.

В отечественных и зарубежных работах, посвященных анализу применения легкого бетона в сборных крупноразмерных армированных конструкциях, как основное достоинство отмечается возможность существенного уменьшения площади сечения и расхода арматуры в сравнении с аналогичными конструкциями из тяжелых бетонов.

### Опыт применения полифункциональных легких бетонов в крупнопанельном домостроении

Констатируя вышеизложенное, следует отметить *нававшееся* в последнее время *возрождение производства и применения полифункциональных, в том числе конструкционных легких бетонов, в строительном комплексе России* и, что характерно в первую очередь для индустриального домостроения, причем уже на новом, более высоком научно-техническом уровне. Об этом свидетельствует, например, *опыт крупных домостроительных комбинатов страны, активно внедряющих инновационные технологии: в Сибири – Томская домостроительная компания, в Европейской части страны – Новочебоксарский домостроительный комбинат*. Использование КЛБ способствует реализации актуальной задачи ресурсоэнергосбережения в индустриальном домостроении за счет совершенствования конструктивно-технологических систем крупнопанельных или каркасно-крупнопанельных зданий.

Так, *Томская домостроительная компания (ТДСК)* впервые для предприятий стройиндустрии Сибири организовала в последнее десятилетие производство на своем заводе КПД и применение в конструктивной системе крупнопанельных зданий:

- несущих трехслойных наружных стеновых панелей с наружным и внутренним слоями и жесткими связями между ними (перемычками или шпонками) из легкого бетона класса В15 марки по плотности D600 на основе керамзита собственного производства;

- предварительно напряженных многопустотных панелей перекрытий из керамзитобетона классов по прочности В20–В22,5.

*Замена тяжелого бетона* класса по прочности при сжатии В15 в наружном и внутреннем слоях несущей стеновой панели и в перемычках (ребрах или шпонках) *на керамзитобетон* того же класса по прочности, которому соответствует марка по средней плотности D1600, способствует:

- снижению тепловых потерь через железобетонные ребра и перемычки, являющиеся мостиками холода, с 20–25% до 7–9% благодаря существенно меньшей величине коэффициента теплопроводности керамзитобетона (см. табл. 2);

- повышению теплотехнической однородности конструкции трехслойной стеновой панели благодаря существенно меньшей разнице в значении  $\lambda_0$  легкого бетона как наружного, так и внутреннего слоев панели, и значении  $\lambda_0$  применяемого в ней материала теплоизолирующего слоя – традиционного плитного утеплителя ( $\lambda_0=0,033-0,06$  Вт/(м·°С) в зависимости от вида утеплителя);

- уменьшению степени напряженного состояния в конструктивных элементах панели, особенно в узлах сопряжений железобетонных связей (ребер или шпонок) с наружным слоем благодаря, *во-первых*, большей на 20–30% предельной сжимаемости и растяжимости при изгибе легкого бетона (последнее обусловлено существенно меньшей разницей между значениями моду-



**Рис. 2.** Термограммы фасадов крупнопанельных жилых зданий с трехслойными наружными стеновыми панелями с плитным утеплителем, перекрытиями и внутренними несущими стенами из тяжелых бетонов: видны концентраторы термонапряжений (оранжевый цвет) в несущих конструкциях из тяжелых бетонов – панелях перекрытий и внутренних стенах, выходящих на лоджии (мостики холода), свидетельствующие о существенных тепловых потерях через них (натурные исследования с помощью тепловизоров выполнены НИИСФ в 2010 г. под руководством Н.П. Умняковой): а – общий вид введенных в эксплуатацию крупнопанельных зданий (Московская область); б – термограммы фасадов зданий

ля упругости зерна пористого заполнителя и затвердевшей растворной части бетона, более плотной и прочной контактной зоной этих компонентов бетона) и соответственно более высоким (на 20–35%) уровнем нижней границы области микротрещинообразования  $R_T^0/R_{пр}$  легкого бетона; *во-вторых*, меньшему значению коэффициента линейной температурной деформации керамзитобетона, а также общеизвестному эффекту более высокой (для бетона класса по прочности при сжатии В15 – в два раза и более) морозостойкости;

- повышению сопротивляемости бетона, особенно наружного слоя и в узлах сопряжения его с железобетонными перемычками, усталостным явлениям, возникающим при циклическом воздействии ветровых нагрузок, в том числе с пульсационной составляющей, и при циклических температурных воздействиях, что наиболее важно для панелей верхних этажей многоэтажных зданий. Это обусловлено известным эффектом более высокого (на 20–35%, что коррелируется с эффектом увеличения  $R_T^0/R_{пр}$ ) в сравнении с тяжелым бетоном предела усталостной прочности легкого бетона при воздействии многократно повторных нагрузок.

Замена тяжелого бетона в предварительно напряженных многопустотных плитах перекрытий на равнопрочный легкий бетон обеспечивает:

- снижение массы конструктивной системы здания и благодаря этому возможность снижения расхода





**Рис. 3.** Цех производства на «длинных» стендах предварительно напряженных многопустотных панелей перекрытий из керамзитобетона классов по прочности В20–В22,5 по технологии стендового безопалубочного формования на заводе КПД Томского ДСК (2009 г.)

стальной арматуры в нижележащих конструкциях и фундаментах на 10–15%;

– существенное уменьшение теплопотерь через ограждения в местах сопряжений панелей перекрытий с наружными стенами (с 20–25 до 10–12% при выходе плит перекрытий на лоджии или балконы), это наглядно показано на рис. 2.

За последние пять лет на заводе КПД ТДСК организовано производство предварительно напряженных



**Рис. 5.** Каркасно-панельный жилой дом с предварительно напряженными многопустотными панелями перекрытий из керамзитобетона классов В20–В22,5 и трехслойными панелями наружных стен с внутренним и наружным слоями, а также с перемычками (жесткими связями) из керамзитобетона класса В15 (Томск, 2011 г.)



**Рис. 4.** Комплекс крупнопанельных 16-этажных зданий с использованием керамзитобетона в предварительно напряженных панелях перекрытий и в трехслойных наружных стеновых панелях с жесткими связями-шпонками (Томск, пос. Солнечный, 2011 г.)

многопустотных панелей перекрытий из керамзитобетона методом безопалубочного формования на длинных стендах с использованием стабилизированных высокопрочных арматурных канатов и высокопрочной проволоки Вр-2 (рис. 3). Это позволяет сократить в 1,5–2 раза расход высокоэнергоемкой стальной арматуры за счет отказа от стержневой напрягаемой арматуры и исключения в плитах арматурных сеток, каркасов и монтажных петель.

Применение метода безопалубочного формования элементов КС здания на длинных стендах позволяет отказаться от арматурных цехов с дорогостоящим оборудованием и высокоэнергозатратными технологическими процессами изготовления в них сварных арматурных изделий (сеток и каркасов).

Пример возведения комплекса крупнопанельных 16-этажных зданий с использованием керамзитобетона в предварительно напряженных панелях перекрытий и несущих трехслойных наружных стеновых панелях с жесткими связями-шпонками приведен на рис. 4. Пример возведения каркасно-панельного жилого дома с предварительно напряженными многопустотными панелями перекрытий из керамзитобетона классов В20–В22,5 и навесными трехслойными панелями наружных стен с внутренним и наружным слоями, а также с перемычками (жесткими связями) из керамзитобетона класса В15 приведен на рис. 5.

ООО «Стройтехинновации ТДСК» в творческом сотрудничестве с НИИСФ ведет поиск путей повышения прочности легкого бетона класса В22,5–В40 с целью выполнения всех элементов несущего каркаса каркасно-панельного здания в легкобетонном варианте для обеспечения:

– снижения массы здания и соответственно расхода стальной арматуры в элементах конструктивной системы нижних этажей здания и в элементах фундаментов;

– для снижения теплопотерь через ограждения зданий в местах сопряжений панелей наружных стен не только с панелями перекрытия, но и с панелями покрытия и внутренними несущими стенами.

Повышение прочности конструкционного легкого бетона до класса В30–В40 планируется достигнуть следующими путями:

– совершенствованием технологии производства керамзитобетона в направлении модификации его структуры с помощью соответствующих химико-минеральных добавок;

– применением в качестве заполнителя высокопрочного (марок по прочности до П250) безобжигового зольного гравия (БЗГ), который имеет ряд преимуществ





**Рис. 6.** Возведение сборно-монолитного несущего каркаса колонно-ригельной системы из керамзитобетона классов по прочности на сжатие В22,5–В30, марок по средней плотности D1650–D1800 на высокопрочном керамзите ООО «Новочебоксарский ДСК» для возведения каркасно-панельного здания (г. Новочебоксарск, 2005 г.)

по сравнению с керамзитом не только по основным строительно-техническим свойствам, но и по энергоёмкости, которая у БЗГ меньше практически на порядок, и по себестоимости производства (меньше почти в два раза); технология производства БЗГ разработана в ОАО «Иркутскзолопродукт», а технология производства конструкционного легкого бетона класса по прочности не ниже В30 – НИИЖБ совместно с НИИСФ; технологическая линия по производству БЗГ на базе золы-уноса ТЭЦ-9 «Иркутскэнерго» производительностью 80 тыс. м<sup>3</sup> заполнителя в год находится в стадии проектирования НТЦ «Иркутскэнерго».

*О совершенствовании  
конструктивных решений  
трехслойных наружных стеновых панелей*

НИИСФ в соответствии с результатами ранее выполненных исследований [11–14], которые были подтверждены успешным опытом предприятий стройиндустрии и практики строительства, рекомендовал ТДСК следующие направления совершенствования конструктивных решений производимых на этом предприятии трехслойных наружных стеновых панелей:

- на первом этапе – в направлении замены жестких связей (железобетонных шпонок) на гибкие базальтопластиковые;
- на втором этапе – в направлении перехода от панелей с так называемым эффективным утеплителем (плитный пенополистирол, минераловатная плита) и различными связями слоев к панелям бессвязевого варианта со всеми слоями из легких бетонов, а именно с наружным и внутренним слоями из конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона классов В12,5–В15 (для несущих панелей) и средним утепляющим слоем из особо легкого бетона, в частности полистиролбетона марок по плотности D350–D400; технология производства такого полистиролбетона, в том числе модифицированного, с пониженными значениями коэффициента теплопроводности (в среднем на 35%) и сорбционной влажности (в среднем на 50%) разработана и запатентована НИИЖБ с участием НИИСФ [9, 10]. Технология производства таких панелей разработана также этими организациями [11].

*Замена жестких связей на гибкие базальтопластиковые*, как показали совместные исследования НИИЖБ–НИИСФ с участием МНИИТЭП [12], способствует:



**Рис. 7.** Возведение 16-этажного каркасно-панельного жилого здания в Нижнем Новгороде с несущим каркасом типа Saret из керамзитобетонных элементов производства Новочебоксарского ДСК, а также с трехслойными наружными стеновыми панелями с наружным и внутренним слоями из керамзитобетона и гибкими связями из базальтопластика (2005 г.)

- практическому исключению значительных теплотерь через мостики холода, какими являются железобетонные шпонки и особенно ребра: для базальтопластика величина  $\lambda_0$  составляет в среднем всего 0,35 Вт/(м·°C) против 1,5 Вт/(м·°C) у тяжелого бетона, т. е. меньше почти в 5 раз;

- увеличению коэффициента теплотехнической однородности ( $r$ ) панели: по данным испытаний НИИСФ фрагментов панелей с различными связями в климатических камерах, величина  $r$  возрастает с 0,5–0,7 (для панелей соответственно с железобетонными ребрами и шпонками) до 0,9;

- существенному уменьшению или даже практическому исключению развития растягивающих напряжений в узлах сопряжений связей с железобетонными слоями панели благодаря соответственно уменьшению или даже исключению эффекта стесненности деформаций железобетонных элементов конструкции панели, которая по существу трансформируется из статически неопределимой в статически определимую.

*Переход к панелям с наружным и внутренним слоями из конструкционного легкого бетона* классов по прочности В12,5–В15 и средним утепляющим слоем из особо легкого теплоизоляционного бетона, в частности полистиролбетона марок по плотности D350–D400, способствует [13]:

- практическому исключению необходимости в каких-либо связях между наружным и внутренним слоями панели из конструкционных легких бетонов (возможна постановка гибких связей только конструктивно в углах панели). Это обусловлено тем, что такие панели изготавливаются на заводском стенде в едином технологическом цикле путем последовательной (практически без перерыва) укладки в форму панели слоев легкого бетонных смесей различных видов с оптимизированными показателями удобоукладываемости для каждого слоя. Последнее, в свою очередь, обеспечивает надежное сцепление полистиролбетона среднего слоя панели с внутренним и наружным ее слоями из керамзитобетона. Соответственно коэффициент теплотехнической однородности такой панели приближается по величине к аналогичной характеристике однослойной легкого бетонной стеновой панели;

- практическому исключению возникновения каких-либо опасных зон концентрации растягивающих напряжений во всех элементах конструкции панели как при силовых, так и при температурных воздействиях,



**Рис. 8.** Технологическая линия формования на длинных стандах завода КПД Новочебоксарского ДСК предварительно напряженных многослойных панелей перекрытий из керамзитобетона класса по прочности В30 для несущего сборно-монолитного каркаса жилых каркасно-панельных зданий или для стеновых систем крупнопанельных зданий (2004 г.)



**Рис. 9.** Комплекс крупнопанельных зданий с трехслойными наружными стеновыми панелями из керамзитобетона и гибкими базальтопластиковыми связями, внутренними стенами и панелями перекрытий из керамзитобетона (микрорайон Юго-Западный, г. Чебоксары, 2011 г.)

которые могут привести к возникновению и развитию трещин, прежде всего в наружном слое панели;

- благоприятным условиям влагомассопереноса при эксфильтрации или инфильтрации водяного пара (в зависимости от климатического сезона) через поперечное сечение стены, что обеспечивается близкими значениями коэффициентов паропроницаемости бетонов всех трех слоев панели;

- повышению надежности в эксплуатации панели благодаря высокой обеспеченности во времени показателей теплотехнического качества применяемых в ней легких бетонов различного назначения, а также показателей прочности и деформативности этих бетонов и, что немаловажно, благодаря высокой морозостойкости легких бетонов.

**Новочебоксарский ДСК** (ЧДСК) организовал с 2005 г. выпуск элементов сборно-монолитного каркаса из модифицированного конструкционного легкого бетона классов по прочности на сжатие В25–В35, марок по плотности D1750–D1850, изготавливаемого на высокопрочном керамзитовом гравии собственного производства (рис. 6). Базовая технология была разработана при использовании результатов соответствующих исследовательских работ, выполненных НИИЖБ с участием ЧДСК. Такой каркас (базовая конструктивная схема каркаса из тяжелого бетона французской фирмы Saret) имеет смешанную конструктивную схему с продольными и поперечными ригелями и предназначен для применения в строительстве многоэтажных каркасно-панельных жилых зданий (рис. 7).

**Конструктивные и технологические преимущества** такого каркаса, основные элементы которого изготавливаются только из керамзитобетона на длинных стандах (рис. 8), в сравнении с традиционными несущими каркасами зданий серий ИИ-02, ИИ-04 следующие:

- возможность изготовления всех элементов каркаса (колонн, ригелей, плит для несъемной опалубки) в одной и той же опалубке;
- возможность свободной планировки конструктивной системы здания;
- отсутствие сварных стыков при сборке каркаса как при стыковке колонн с ригелями, так и при наращивании колонн;
- расход сборного железобетона на 1 м<sup>2</sup> общей площади здания составляет всего 0,23–0,3 м<sup>3</sup>;
- высокая сейсмостойчивость здания.

Такой полностью легобетонный каркас благодаря высокой эффективности становится все более востребованным строительными комплексами многих регионов европейской части страны, его уже применяют в Казани, Нижнем Новгороде, Нижнекамске, Самаре.

В дополнение к вышеизложенному следует отметить освоение **Новочебоксарским ДСК производства забивных свай** из керамзитобетона класса по прочности В30, марок по плотности D1800, а по морозостойкости – F300. Такие конструкции, предназначенные для свайного фундаментного ростверка здания, существенно более эффективны по сравнению с аналогичными конструкциями из равнопрочного тяжелого бетона с позиций:

- большей технологичности в применении при устройстве свайных ростверков (при забивке свай меньше повреждений в их оголовниках в силу большей ударной вязкости керамзитобетона, табл. 2);

- существенно большей долговечности: у керамзитобетона намного выше морозостойкость и водонепроницаемость (см. табл. 2).

Кроме того, необходимо отметить, что **Новочебоксарским ДСК освоено производство:**

- трехслойных наружных стеновых панелей с плитным утеплителем и базальтопластиковыми связями в развитие результатов соответствующих исследований и проектных разработок НИИЖБ–НИИСФ–МНИИТЭП, изложенных в работе [12] и успешно апробированных ранее на одной из технологических линий завода «Бекерон» (Москва). Такие панели, как показал почти десятилетний опыт (рис. 9), теплотехнически более эффективны и надежны в эксплуатации в сравнении с аналогичными панелями с жесткими железобетонными связями-перемычками;

- панелей внутренних стен из керамзитобетона с помощью кассетно-формовочных машин;

- панелей внутриквартирных перегородок из керамзитобетона класса В5 марки по плотности D1250 с помощью формовочных машин Akotek фирмы Elematic (Финляндия) методом экструдирования.

Далее следует привести выполненные НИИСФ (д-р техн. наук А.С. Семченков) **результаты расчетов конструктивных систем каркасно-крупнопанельных зданий**, все элементы которых выполняются из полифункциональных легких бетонов [14].

При выполнении всех вертикальных (колонны, панели наружных стен) и горизонтальных (ригели, диски





В.П. ВЫЛЕГЖАНИН, канд. техн. наук, директор, В.А. ПИНСКЕР, канд. техн. наук, научный руководитель, Центр ячеистых бетонов (Санкт-Петербург)

## **Составные панели из автоклавного газобетона**

По итогам 2011 г. в малоэтажном и многоэтажном строительстве основным заказчиком остается государство. Политика правительства нашей страны направлена на решение основных задач в жилищном строительстве: снижение себестоимости; повышение производительности труда; улучшение качества возводимого жилья; повышение энергоэффективности домов.

Одним из направлений для решения этих задач является расширение использования крупнопанельной (крупноблочной) технологии. Она считается индустриальной и экономически эффективной для массового строительства, особенно для социального жилья, повышает его качество, при этом обеспечивается достаточная комфортность проживания в нем.

За последние 10 лет в России построено более 50 заводов по изготовлению изделий из автоклавного газобетона с использованием современных технологий. Эти заводы выпускают в основном мелкие стеновые блоки. Анализ показывает, что избыток газобетонных блоков на рынке в ближайшие годы будет нарастать. Чтобы сохранить конкурентоспособность в производстве газобетона необходимо при строительстве новых заводов устанавливать оборудование и применять технологию, позволяющие изготавливать более крупные изделия, в том числе армированные. Из введенных за последние годы в действие в РФ заводов по выпуску автоклавных газобетонных изделий только ЗАО «МПРК «ГРАС» приступил к изготовлению крупных армированных изделий.

Из автоклавного газобетона можно изготавливать следующие изделия:

- неармированные крупные стеновые блоки;
- армированные крупные стеновые блоки;
- стеновые панели;
- стеновые панели составные, собираемые из стеновых панелей шириной 600 мм;
- объемные блоки;
- панели перегородок;
- междуэтажные плиты перекрытий;
- плиты покрытий;
- плиты теплоизоляционные;
- перемычки;
- акустические плиты;
- декоративные плиты.

### **Крупные стеновые блоки**

К неармированным (по ГОСТ 31360) относят изделия с максимальными размерами длиной до 1500 мм, шириной до 1000 мм, толщиной до 600 мм. Они предназначены для непосредственного монтажа крупноблочных и крупнопанельных зданий или для укрупнительной сборки в панели.

Крупные блоки применяются для возведения наружных и внутренних стен всех типов — навесных, самонесущих и несущих. Блоки наружных стен рекомендуется отделывать поверхностным слоем на заводе и доставлять на строительную площадку в готовом виде.

### **Армированные крупные блоки и стеновые панели**

Армированные крупные блоки и стеновые панели изготавливаются по ГОСТ 11118.

Крупный армированный блок — это элемент площадью менее 1,8 м<sup>2</sup>, армированный конструктивной и рабочей арматурой, рассчитанный на восприятие технологических, транспортных, монтажных и эксплуатационных нагрузок. Стеновая панель может быть цельная и составная.

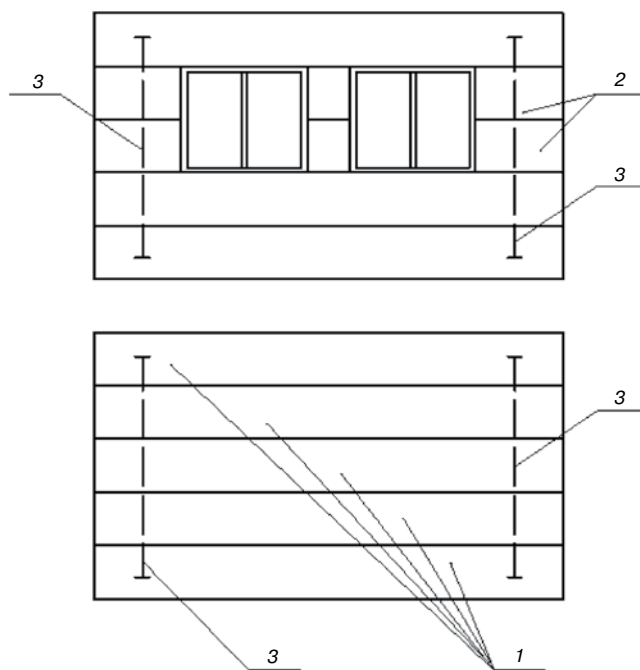
Цельная наружная стеновая панель — это изделие заводского изготовления площадью не менее 1,8 м<sup>2</sup>. В настоящее время выпускаются ЗАО «ДСК-3» (Санкт-Петербург).

Стеновые панели составные — это панели, собранные из исходных стеновых панелей, в том числе крупных блоков, на клею, растворе, путем сваривания стальных закладных изделий или с помощью тяжей.

Они являются более предпочтительными, так как позволяют применить резательную технологию, более трещиностойки, требуют меньшего расхода арматуры, позволяют эффективнее использовать формы и автоклав.

Марка по плотности применяемого газобетона лежит в пределах D400–D800, класс по прочности при сжатии B1,5–B7,5.

Панели могут быть навесными, самонесущими и несущими. Для наружных продольных стен следует принимать навесные стеновые панели, позволяющие использовать наиболее легкий и эффективный газобетон марки D400. Наружные стены однорядной разрезки поставляются полностью отделанными со вставленными столярными изделиями и остеклением. Наружная отделка должна обеспечивать выразительный архитектурный облик фасада и его долговечность.



**Рис. 1.** Примеры составных панелей из автоклавного газобетона: 1 — исходные стеновые панели; 2 — неармированные крупноразмерные блоки; 3 — металлические тяжи





**Рис. 2.** Здание офиса со стенами из газобетонных панелей

Построенные за последние 10 лет заводы по производству автоклавного газобетона используют в основном технологии шведских и оборудование немецких фирм. Во всех этих производствах формовочный массив имеет размеры: длина 6000 мм, ширина 1200 мм, высота 600 мм. При вертикальной разрезке такого массива можно получить стеновые армированные или неармированные крупные стеновые блоки длиной до 6000 мм, высотой до 600 мм и любой выбранной проектной толщины.

Из стеновых исходных элементов высотой 600 мм собираются стеновые составные панели. В качестве соединительного элемента используются металлические тяжи, проходящие через монтажные отверстия (рис. 1).

Такая укрупнительная сборка составных панелей может выполняться на механизированной конвейерной линии. На этой линии могут изготавливаться составные панели различных габаритов полной заводской готовности для жилищного строительства с оконными и дверными заполнениями и наружной отделкой.

Технология резки, применяемая на действующих заводах, позволяет обеспечивать необходимую точность основных размеров изделий по длине  $\pm 5$  мм, высоте  $\pm 3$  мм, толщине  $\pm 2$  мм.

Для сборки составных панелей в исходных элементах просверливаются отверстия под тяжи и шайбы. Металлические тяжи рекомендуется использовать для обжатия швов между исходными элементами, для подъема составных панелей, а также в качестве анкерных элементов при устройстве узлов крепления. Диаметр тяжей должен быть не менее 12 мм.



**Рис. 3.** Стена промышленного здания из стеновых газобетонных панелей

Составные панели, при креплении которых в стыковых силовых соединениях к внутренним несущим конструкциям использовались тяжи и шайбы, могут эффективно применяться в качестве ограждающих конструкций в каркасных зданиях. Прочность и деформативность таких креплений регулируются подбором сечений металлических связей.

Из панелей высотой 600 мм как вариант собираются стены зданий (рис. 2, 3), которые крепятся к колоннам с помощью соединительных элементов.

Строительство из газобетонных крупных элементов позволяет отказаться от низкоквалифицированной рабочей силы, тем более что ощущается острый дефицит каменщиков для укладки мелких блоков и облицовки их кирпичом. Монтаж крупных блоков производится монтажниками с помощью легких клещевых захватов и мобильных автострел. Один монтажник заменяет нескольких каменщиков с высокой зарплатой.

При строительстве домов из укрупненных газобетонных изделий трудоемкость возведения домов снижается на  $1 \text{ м}^2$  общей площади с 20–30 чел.ч до 11–12 (под ключ), т. е. практически вдвое, а сокращение сроков строительства дает дополнительную экономию, и не только в накладных расходах.

## Техноген-2012

Международный научный конгресс

«Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов утилизации техногенных образований»

13–15 июня 2012 г.

Екатеринбург

**Организаторы:** Российская академия наук, Научный совет по металлургии и металловедению РАН, Институт металлургии УрО РАН, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

**Тематика научной конференции:**

- Виды, состав, объем техногенных образований на предприятиях горнометаллургического комплекса;
- Физико-химические основы переработки техногенных и бытовых отходов;
- Новые технические решения по переработке техногенных образований и вторичного сырья, организация безотходных производств;
- Современные технические решения очистки техногенных газов и сточных вод.

620016, Россия, Екатеринбург, ул. Амундсена, 101, ИМЕТ УрО РАН

Телефон/факс: (343) 267-97-15

Телефон: (343) 23290-29

E-mail: ferro1960@mail.ru

www.technogen-2012.ru

Ученый секретарь конгресса *Шешуков Олег Юрьевич*

В.Н. МОРГУН, канд. техн. наук, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону);  
 А.Ю. БОГАТИНА, канд. техн. наук, Ростовский государственный университет  
 путей сообщения; Л.В. МОРГУН, д-р техн. наук, П.В. СМИРНОВА, канд. техн. наук,  
 Ростовский государственный строительный университет

## **Конструкционные возможности фибропенобетона неавтоклавногo твердения**

Одним из важнейших направлений технической политики в области строительства в настоящее время являются энерго- и ресурсосбережение, что закреплено рядом федеральных законов, нормативно технических документов и отражено в целевых программах различного уровня. Введение с 2003 г. повышенных требований к теплотехническим свойствам ограждающих конструкций зданий предусматривает необходимость значительного повышения их сопротивления теплопередаче. В связи с этим самыми распространенными в современном многоэтажном каркасном и крупнопанельном строительстве в настоящее время стали многослойные стены с эффективным теплоизоляционным материалом. Необходимость устройства многослойных стеновых конструкций обусловлена тем, что ни один из традиционных материалов отдельно не удовлетворяет *комплексу требований* по прочности, долговечности и энергоэффективности. Например, рядовой керамический кирпич обладает достаточной механической прочностью по отношению к нагрузкам бытового уровня, но слишком теплопроводен ( $\lambda \geq 0,5 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ). Теплоизоляционные материалы (минеральная вата, пенополистирол), предназначенные для обеспечения теплоизоляции стеновых конструкций, обладают низкой теплопроводностью ( $\lambda = 0,04 - 0,07 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ), но не могут применяться в конструкциях зданий без защиты от механических воздействий, так как не обладают достаточной прочностью.

Технология пенобетона, дисперсно-армированного синтетическими волокнами (фибропенобетона – ФПБ),

развиваемая в Ростове-на-Дону, позволяет предложить строительному комплексу РФ энергоэффективный материал массового производства, свойства которого обеспечивают возможность изготовления однослойных стен, соответствующих комплексу современных требований по прочности, энергоэффективности, долговечности, архитектурно-художественной выразительности и экологичности. Причиной комплексного улучшения конструктивных свойств ФПБ по сравнению с равноплотными пено- или газобетонами следует считать изменение их структуры на микро- и наноуровнях, формирующееся в период приготовления и фазового перехода смесей из вязкого в твердое состояние [1–3]. Затвердевший фибропенобетон под действием нагрузок способен претерпевать следующие стадии деформирования:

а) совместную упругую деформацию фибры и бетона, которая проявляется в стадии упругого деформирования бетона;

б) при появлении в растянутой зоне бетона первой трещины в работу сопротивления механической нагрузке включаются те объемы материала, которые связаны с фиброй силами поверхностного сцепления. Поэтому материал не разделяется на части. В случае снятия нагрузки берега трещины смыкаются. Под действием нагрузки развитие берегов трещины идет в замедленном темпе вплоть до достижения предела упругой деформативности фибры;

в) достижение предела упругой деформативности фибры переводит изделия из фибропенобетона в состояние пластического течения дисперсной арматуры;

**Таблица 1**

**Растяжимость пено- и фибропенобетона**

Фибропенобетон		Пенобетон	
Напряжение, МПа	Деформации, мм/м	Напряжение, МПа	Деформации, мм/м
0	0	0	0
0,1	0,05263	0,1	0,0625
0,2	0,10526	0,2	0,125
0,3	0,15789	0,3	0,1875
0,4	0,21052	0,4	0,25
0,5	0,263	0,48	0,3
0,6	0,31578	0,485	0,31
0,7	0,3682	0,483	0,33 (Образцы разделялись на части)
0,75	0,39473		
0,79	0,43		
0,8	0,53 (Дисперсная арматура достигла предела текучести, но образцы не разделялись на части)		



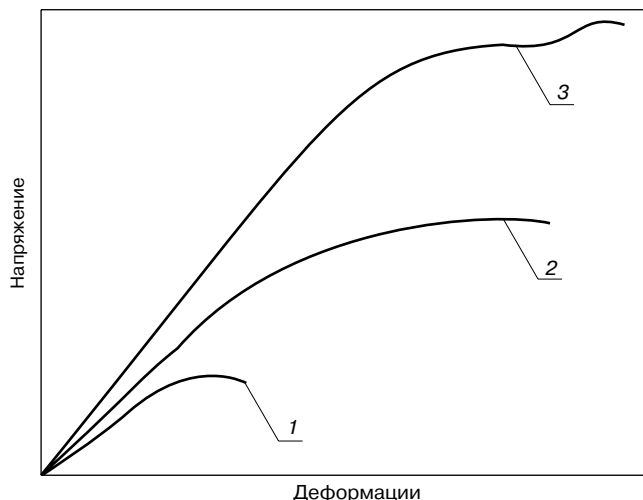


Рис. 1. Принципиальная зависимость между напряжениями и деформациями в фибробетоне и его компонентами: 1 – бетон; 2 – фибропенобетон; 3 – фибра

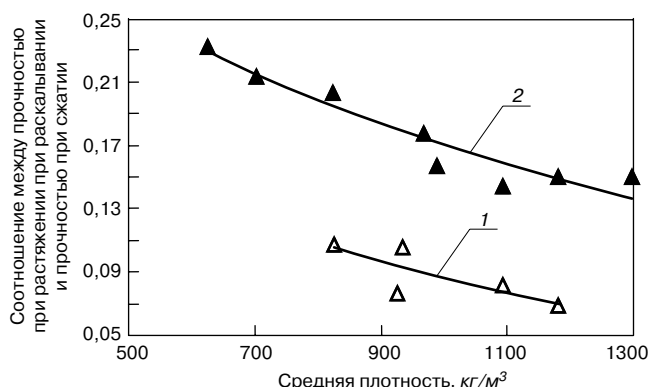


Рис. 2. Влияние дисперсного армирования на хрупкость пенобетона: 1 – пенобетон; 2 – фибропенобетон 3%

г) разрыв или выдергивание волокон из бетона характеризует полное разрушение материала, которое выражается разделением его на части.

Из графика, представленного на рис. 1, следует, что с помощью дисперсного армирования пенобетонов можно управлять не только прочностью, но и энергоемкостью разрушения. Работа разрушения (площадь фигуры, ограниченной соответствующей кривой деформирования) фибропенобетона в несколько раз превышает этот же показатель для бетона. Это чрезвычайно важно

для долговечной и безопасной эксплуатации строительных объектов, поскольку при одинаковой прочности при сжатии материал, разрушающийся вязко, способен предупреждать о предстоящем разрушении развитием видимых деформаций. Это дает возможность службам эксплуатации либо разгрузить конструкцию, либо защитить людей от травм, имеющих место при внезапном обрушении. Результаты исследований влияния дисперсного армирования на растяжимость фибропенобетонов представлены в табл. 1 (бетоны плотностью  $650 \text{ кг/м}^3$  подвергались растяжению при изгибе).

Из данных табл. 1 следует, что поведение пенобетона под действием растягивающей и изгибающей нагрузок соответствует принципиальной закономерности, представленной на рис. 1. Пенобетон обладает незначительной предельной растяжимостью, разрушается хрупко при напряжениях существенно меньших, чем напряжения, воспринимаемые равноплотным фибропенобетоном. Рост пластических деформаций в фибропенобетоне при напряжениях растяжения выше  $0,75 \text{ МПа}$  показал, что материал завершил работу в упругой стадии деформирования, однако образцы не разделились на части, а оказались способными противостоять приложенной нагрузке.

Экспериментально установлено, что наличие фибры в количестве до  $0,5\%$  от объема твердой фазы не оказывает практического влияния на прочностные и деформативные свойства пенобетонов. По мере насыщения пенобетонной смеси дисперсной арматурой в ней возникают специфические условия для ускорения процессов массопереноса, обеспечивающих переход вязкой суспензии в твердую фазу.

Ускоренный фазовый переход позволяет снижать количество внутренних дефектов в структуре межпоровых перегородок, что выражается в комплексном улучшении конструктивных свойств фибропенобетонов по сравнению с пенобетонами. В экспериментах превышение модуля упругости за счет дисперсного армирования в количестве  $2 \text{ об. } \%$  составило  $16\text{--}20\%$ . При этом коэффициент вариации модуля упругости серии пенобетонных образцов достигал  $12,5\%$ , а фибропенобетонных – всего  $5,68\%$ .

Комплексное улучшение конструктивных свойств пенобетонов при их дисперсном армировании волокнами обусловлено изменением порядка упаковки и плотности зернистых дисперсных частиц в ходе формирования структуры межпоровых перегородок. Повышение плотности упаковки дисперсных частиц влечет закономерное повышение прочности затвердевшего материала, что и выражается в изменении параметров появле-

Конструкционные свойства пено- и фибропенобетона

Таблица 2

Контролируемые свойства	Вид бетона			Коэффициент вариации, %		
	пенобетон	фибропенобетон		пенобетон	фибропенобетон	
Доля армирования от объема твердой фазы, %	0	0,5	2	0	0,5	2
Средняя плотность, $\text{кг/м}^3$	730	732	725	0,81	0,78	0,53
Начальный модуль упругости, МПа	1740	1750	2020	12,5	12,3	5,68
Прочность при растяжении при изгибе (МПа) при появлении трещин:						
– первой			1,54			9
– магистральной			3,01			14,3
– разрушающей	1,15	1,15	4,48	21,2	19,9	11,9
Прогибы в мм при появлении трещин:						
– первой			0,32			17,6
– магистральной			1,69			24,1
– разрушающей	0,38	0,36	7,7	26,8	24,3	13,5

ния первой трещины в дисперсно-армированных пенобетонах.

Прочность при растяжении самая малая из всех прочностных характеристик бетона. Ячеистый бетон сопротивляется растяжению на порядок хуже, чем сжатию. О мере его хрупкости судят по отношению величин прочности при растяжении к прочности при сжатии (рис. 2).

Из графика на рис. 2 следует, что фибропенобетоны конструкционно-теплоизоляционного назначения характеризуются прочностью при растяжении, соответствующей бетонам слитной структуры классов В15–В20. Это позволило прогнозировать возможность применения фибропенобетона плотностью 700–800 кг/м<sup>3</sup> в армированных металлической стержневой арматурой изгибаемых элементах несущих строительных конструкций. В качестве таких элементов вначале были выбраны перемычки для перекрытия проемов гражданских зданий.

Для изучения работы фибропеножелезобетонных элементов под действием кратковременной нагрузки в лабораторных условиях были изготовлены и испытаны перемычки прямоугольного и П-образного сечений пролетом 2,3 м.

Армирование перемычек было принято на основании расчета однопролетной свободно лежащей балки. Плотность фибропенобетона составляла 800 кг/м<sup>3</sup>. Призматическая прочность  $R_b=3,5-5,2$  МПа, содержание синтетической фибры составляло 1,5%. Фибропенобетон изготавливали в лабораторном смесителе по технологии, защищенной патентом РФ [4].

Испытания перемычек внешней кратковременной нагрузкой в возрасте 28–32 сут проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 8829–94 «Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением и оценка прочности, жесткости и трещиностойкости» по схеме однопролетных свободно лежащих балок, симметрично загружавшихся дву-

мя сосредоточенными силами, приложенными в третях пролета. Нагружение проводилось ступенями по 0,05–0,1 от ожидаемой разрушающей нагрузки с интервалом между ступенями 10 мин. Характер разрушения фибропеножелезобетонных перемычек отличался от традиционного осколочного разрушения железобетонных перемычек по нормальным сечениям. Все опытные балки разрушились по наклонным сечениям сжатой зоны. Установлено, что при использовании конструкционно-теплоизоляционного фибропенобетона момент, приводящий к образованию трещин в растянутой зоне, должен превышать расчетный в 1,4–1,6 раза по сравнению с железобетонными перемычками таких же размеров и несущей способности.

Достиженные результаты позволили освоить технологию изготовления теплоэффективных перемычек на ряде предприятий стройиндустрии [5]. В 2008 г. сдан в эксплуатацию офисный центр «Купеческий двор», возведенный в исторической части Ростова-на-Дону, все ограждающие конструкции которого выполнены из фибропенобетона плотностью 400–500 кг/м<sup>3</sup>, а карнизные элементы – из фибропеножелезобетона плотностью 600 кг/м<sup>3</sup> [6]. В 2010 г. была изготовлена и испытана под действием длительно действующей нагрузки плита перекрытия (900×300×4800 мм) из фибропенобетона плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>, армированная объемными металлическими каркасами. Как показали испытания, допустимый прогиб (6,85 мм) был достигнут после превышения нагрузки в 730 кг/м<sup>2</sup>, т. е. в 2,4 раза выше нормативной для железобетонных плит, предназначенных для жилья [7].

Обобщая изложенное, можно утверждать, что современный уровень развития технологии фибропенобетона позволяет его позиционировать не только как морозостойкий теплоизоляционный, но и как достойный внимания материал для изготовления крупногабаритных энергоэффективных строительных изделий конструкционного назначения. К числу таких изделий относятся плиты перекрытий. После промышленной апробации можно приступить и к изготовлению стеновых панелей.

**Ключевые слова:** фибропенобетон, предельная растяжимость, модуль упругости, конструкционные свойства.

## Список литературы

1. Моргун Л.В., Моргун В.Н. О жидкокристаллической природе агрегативной устойчивости пенобетонных смесей // Строительные материалы. 2006. № 6. С. 22–23.
2. Смирнова П.В., Моргун Л.В., Моргун В.Н., Бацман М.О. Зависимость скорости формирования структуры пенобетонов от температуры сырьевых компонентов // Строительные материалы. 2008. № 6. С. 50–52.
3. Моргун Л.В., Богатина А.Ю., Смирнова П.В., Моргун В.Н., Набокова Я.С. О сейсмобезопасном бетоне // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 4–6.
4. Моргун Л.В., Айрапетов Г.А., Лавренов А.В. Способ изготовления пенобетонной смеси. Патент РФ на изобретение № 211132315.
5. Богатина А.Ю., Моргун Л.В., Моргун В.Н. Бетон для энергоэффективных зданий // Известия РГСУ. 2006. № 10. С. 88–95.
6. Моргун Л.В., Богатина А.Ю., Моргун В.Н., Саханев В.Г. Архитектурные формы изделий из фибропенобетона неавтоклавного твердения // Строительные материалы. 2005. № 10 / Архитектура. С. 14–16.
7. Моргун Л.В., Моргун В.Н., Пименова Е.В., Смирнова П.В., Набокова Я.С. Возможность применения неавтоклавного фибропенобетона в крупнопанельном домостроении // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 19–21.



## Книга «Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК)»

Авторы –  
д-р техн. наук С.Б. Турковский,  
канд. техн. наук  
А.А. Погорельцев,  
канд. техн. наук  
И.П. Преображенская

Книга содержит примеры из опыта применения различных типов конструкций в современном строительстве. Особенность применяемой системы состоит в использовании нового вида соединений в узловых сопряжениях и стыках конструкций, открывающего новые возможности клееной древесины. Система позволяет получить большепролетные сборные конструкции повышенной надежности, в том числе уникальные. Кроме того, теперь имеется возможность на основе серийно изготавливаемых унифицированных элементов создавать самые различные конструктивные системы — как по форме, так и по размерам. Система создана на основании длительных исследований (с 1974 г.), проводимых сотрудниками лаборатории деревянных конструкций ЦНИИСК, а также опыта проектирования, изготовления и применения клееных деревянных конструкций за последние 15–20 лет.

Книга содержит материалы, рекомендуемые работникам проектных организаций, студентам, аспирантам, инженерам-строителям и др.



Л.М. КОЛЧЕДАНЦЕВ, д-р техн. наук, О.Г. СТУПАКОВА, инженер,  
Р.Р. МУСТАФИН, инженер (mustafin-roman@mail.ru),  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

## Применение разогретых бетонных смесей для повышения прочности стыка сборно-монолитных зданий

Одним из приоритетных направлений решения жилищной проблемы в России является использование потенциала производственной базы крупнопанельного домостроения. В настоящее время имеются благоприятные предпосылки для массового строительства зданий экономического класса с применением сборных элементов: гибкая технология изготовления панелей устраняет проблему однообразия панельных зданий; технология устройства бесшовных, или мокрых, фасадов исключает проблему соединения наружных стеновых панелей.

По мнению авторов, строительство полносборных зданий, особенно повышенной этажности, не устраняет проблему их надежности. В ранее опубликованных статьях [1, 2] обоснована целесообразность строительства сборно-монолитных зданий, стыки между сборными элементами которых бетонируются предварительно разогретыми смесями.

Монолитность бетонных и железобетонных конструкций является одним из основных факторов, характеризующих прочность и долговечность как отдельной конструкции, так, сооружения в целом. Совместная работа отдельных сопрягаемых между собой деталей и элементов конструкции, которые, как правило, получают в результате перерывов в бетонировании или изготовлены ранее, играет существенную роль в общей прочности здания или сооружения.

Таким образом, приходится иметь дело с прибетонированием свежего, «нового» бетона к уже отвердевшему, набравшему определенную прочность «старому» бетону или заделкой стыка свежим бетоном между двух «старых».

В рабочих швах монолитных и стыках сборных или сборно-монолитных конструкций, выполняемых с перерывом арматуры или по стыку Передерия, плохое сцепление старого бетона с новым ведет к образованию трещин в зоне контакта, соответственно к снижению водонепроницаемости и морозостойкости шва, что в конечном итоге неблагоприятно влияет на надежность и долговечность здания или сооружения.

Известно, что основными факторами, влияющими на прочность сцепления, являются: усадка и консистенция свежего бетона, возраст и отсутствие цементной пленки на активной поверхности старого бетона. Трудоемкая обработка активной поверхности сборных элементов целесообразна только в случае работы шва на срез. Малоисследованным оказался такой фактор, как влияние разницы температур между «старым» и вновь уложенным бетоном на качество стыка. В качестве рабочей гипотезы авторами данной статьи выдвинуто предположение, что если температура укладываемого в стык бетона будет существенно больше (на 30°C и более) температуры «старого» бетона, то за счет теплопереноса от горячего к холодному диффузионные

процессы из растворной составляющей свежеложенного бетона увеличат его сцепление со старым бетоном. Это в сочетании с вышерассмотренными техническими приемами повысит качество стыка.

Проводимые исследования были направлены на выявление влияния разницы температуры старого и свежеложенного бетона на прочность стыка, с ускоренными темпами набора прочности, как свежеложенного бетона, так и стыка бетонирования со значительным уменьшением влажностной усадки и упрочнением сцепления.

В эксперименте возраст старого бетона принят трехсуточным, а подвижность смеси П4. Шов бетонирования вертикальный, вертикально образованная активная поверхность с нанесенными вертикальными и наклонными штробами. В собственных исследованиях авторами изготовлено 10 серий по три образца в каждой серии для 7 и 28-суточного возраста. Образцы имели форму призмы прямоугольного сечения размерами 100×200×600 мм (Ш×В×Д) со швом бетонирования по середине (рис. 1). В качестве старого бетона послужил образец из бетона класса В25, отформованный на 3 сут ранее подливки нового, на активной поверхности которого устраивались вертикальные и наклонные штробы 4 мм шириной и 6 мм глубиной. Новый бетон непосредственно перед укладкой в форму подвергался интенсивному электроразогреву переменным током промышленной частоты 50 Гц до температур +50°C и +70°C с последующей укладкой в форму и вибрированием на вибростоле.

Полученные образцы испытывались на прессе с приложением нагрузки по обе стороны от шва бетони-

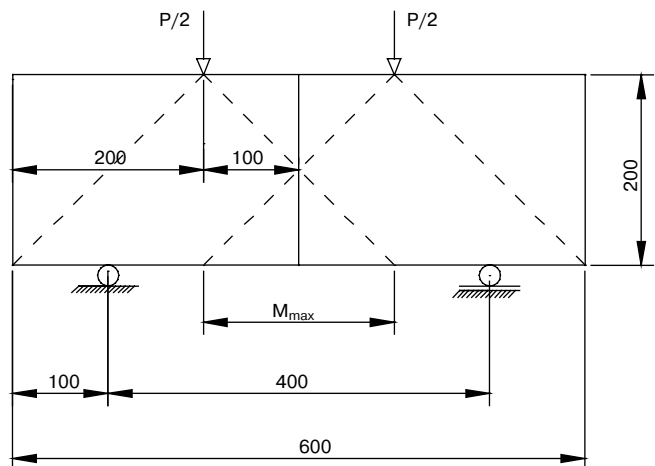


Рис. 1. Схема испытания образцов на растяжение при изгибе

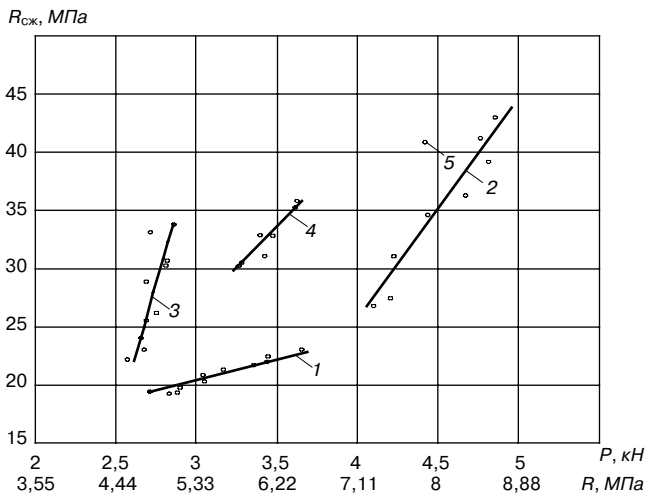


Рис. 2. Влияние прочности нового бетона  $R_{сж}$  (по вертикали) на величину сцепления нового и старого бетонов ( $P$ ) в возрасте 7, 28 и 90 сут при испытании образцов на растяжение при изгибе ( $R$ ): 1 – образцы без стыка, 7 сут; 2 – образцы без стыка, 28 сут; 3 – стыкованные образцы, 7 сут; 4 – стыкованные образцы, 28 сут; 5 – стыкованные образцы, 90 сут

рования по ГОСТ 10180–90 «Методы определения прочности по образцам» в возрасте 7 и 28 сут. При сочетании факторов проводились повторные эксперименты, показавших лучшие результаты образцов с испытанием в трехмесячном возрасте. Таблица полученных материалов подверглась математическому анализу на достоверность результатов и установления зависимостей откликов от варьируемых факторов. Выведены уравнения регрессии.

В проведенных исследованиях изучалось три фактора, способных повлиять на прочность сцепления:  
 – разница температур старого и свежееуложенного бетона  $\Delta T = 30\text{--}50^\circ\text{C}$  ( $X_1$ );  
 – скорость остывания свежееуложенного бетона  $V = 0\text{--}2^\circ\text{C/сут}$  ( $X_2$ );  
 – водоцементное отношение при неизменной подвижности за счет изменения концентрации пластифицирующих добавок  $В/Ц = 0,38\text{--}0,5$  ( $X_3$ ).

По результатам испытания образцов, как составных, так и монолитных, был построен совмещенный график (рис. 2), по наклону линий которого можно судить о влиянии прочности бетона в различных возрастах на величину разрушающей нагрузки монолитных и составных образцов. Из приведенного графика можно сделать вывод, что в составных образцах на ранних сроках твердения свежееуложенного бетона (до 7 сут) прочность бетона незначительно влияет на прочность соединения (№ 3), а разрушения образцов происходило по плоскости контакта, без вырывания старого бетона. Линия результатов испытания монолитных образцов (№ 1) наклонена на меньший угол относительно оси абсцисс, соответственно влияние прочности бетона на величину разрушающей нагрузки выражено более явно. Поверхность разлома – с выраженными отрывами крупного заполнителя; разлом происходил по границе щебень–цементный камень.

В возрасте 28 сут наклон кривой составных образцов резко изменился в сторону увеличения значимости прочностных характеристик бетона. Если провести горизонтальную прямую через значение прочности в 30 МПа, можно заметить, что образцы в возрасте 28 сут имеют на 17% более прочный стык при абсолютно одинаковой прочности бетона, сцепление монолитных образцов (№ 2) на 20% выше, чем у составных образцов в возрасте 28 сут (№ 4), и разрушения уже носят смешанный характер. Стоит отметить, что при разломе состав-

ных образцов в возрасте 28 сут, показавших лучший результат, наблюдалось частичное отрывание старого бетона новым вследствие опережения набора прочности новым. Этот эффект достигнут в результате предварительного электроразогрева бетонной смеси, который позволяет увеличить эффект массопереноса за счет температурного градиента и активации цемента переменным током, вовлечением в химическую связь большего количества вяжущего. Таким образом, новый бетон набирал прочность на 10–30% превосходящую прочность старого в зависимости от температуры разогрева.

Точкой под номером 5 обозначен результат испытания составных образцов в возрасте 90 сут. Данные результаты на 8% уступают по прочности монолитным образцам в проектном возрасте. Следовательно, применение предварительного электроразогрева привело к увеличению значения микродиффузии, уменьшению влажностной усадки за счет интенсификации схватывания бетона и пониженного  $В/Ц$  до 0,38, тем самым повысив прочность сцепления и нового бетона без применения сложных технологических процессов, таких как обмазка активной поверхности цементно-песчаным тестом.

По результатам основного эксперимента выведены уравнения регрессии.

Для образцов в возрасте 7 сут:

$$Y_7 = 2,53 + 0,165 \cdot X_1; X_2 = 2,53 + 0,165 \cdot (В/Ц - 0,44) / 0,12 \cdot (V - 1) / 2.$$

Для образцов в возрасте 28 сут:

$$Y_{28} = 3,24 + 0,399 \cdot X_2 + 0,284 \cdot X_1 \cdot X_2; X_3 = 3,24 + 0,399 \cdot (V - 1) / 2 + 0,284 \cdot (В/Ц - 0,44) / 0,12 \cdot (V - 1) / 2 \cdot (\Delta T - 40) / 20.$$

Откликом данных функций будет являться величина разрушающей нагрузки на образец. В соответствии с ГОСТ 10180–90 пересчет разрушающей нагрузки в кг/см<sup>2</sup> можно произвести по формуле:

$$R_{fj} = \sigma \cdot Fl / (a \cdot b^2) \cdot kw [1],$$

где  $a, b, l$  – ширина, высота и расстояние между опорами при испытании образцов на растяжение при изгибе;  $\sigma$  – масштабный коэффициент, равный 1;  $F$  – разрушающая нагрузка;  $kw$  – поправочный коэффициент, учитывающий влажность (для ячеистых бетонов).

На основании результатов эксперимента по выявлению факторов, влияющих на прочность контакта старый – новый бетон, составлен план дополнительного исследования с целью получения характеристик прочности стыка при испытании на чистый сдвиг составного образца и монолитного в сравнении с образцами, состыкованными без применения предварительного электроразогрева. Для этого была разработана специальная методика испытаний, исключающая появление крутящего момента относительно плоскости контакта (рис. 3).

Полученные результаты дополнительного исследования позволили утверждать, что

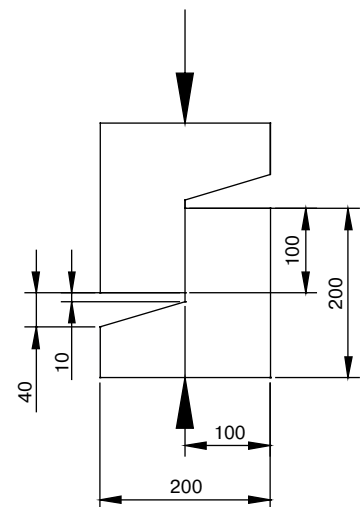


Рис. 3. Схема испытания образцов на чистый сдвиг



с применением предварительного электроразогрева бетонной смеси и пониженного В/Ц стало возможным получение равнопрочных с монолитом стыков при работе шва на сдвиг и достижение 92% прочности при работе шва на растяжение.

Таким образом, в ходе проведенных исследований по изучению влияния предварительного электроразогрева бетонной смеси на сцепление старого и нового бетонов были достигнуты результаты, позволяющие считать стыки бетонирования равнопрочными с монолитом при работе конструкции на сдвиг и выдерживании особых условий.

Данные результаты достигнуты за счет увеличения эффекта самовакуумирования, максимальное значение которого достигается при разнице температур старого и свежееуложенного бетонов, близкой к  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  при температуре свежееуложенной смеси не более  $T_6=+50^{\circ}\text{C}$ . Более высокие значения температуры свежееуложенного бетона ведут к значительному ускорению схватывания, что уменьшает время прохождения диффузионных процессов на границе стыка. Меньшие значения  $T_6$  приводят к недостаточной мере интенсификации бетонных работ, сопряженных с уменьшением значимости диффузии (при условии снижения  $\Delta T$ ) и недобором прочности новым бетоном относительно старого, что не позволяет считать сборно-монолитную конструкцию равнопрочной.

Таким образом, оптимальными параметрами бетонирования нового бетона к старому являются:  $\Delta T \geq 30^{\circ}\text{C}$  при  $T_6=+50^{\circ}\text{C}$ ; минимальное В/Ц при оптимальной подвижности П4; скорость остывания  $\leq 2^{\circ}\text{C}$  в сутки. Стыки бетонирования можно считать монолит-

ными при работе шва на срез и при удалении с активной поверхности цементной пленки и нанесении вертикальных и наклонных под углом  $450^{\circ}$  штроб шириной 4–6 мм, глубиной 6–8 мм с шагом 15–25 мм. При работе шва конструкции на растяжение прочность стыка достигает более 90% прочности монолита при аналогичной обработке активной поверхности и предварительном электроразогреве бетонной смеси. Такой способ бетонирования сборно-монолитных и монолитных конструкций в несъемной опалубке увеличивает прочность стыка на 17–25% по сравнению с известными способами при отсутствии сложных технологических процессов на строительной площадке.

**Ключевые слова:** «старый» бетон (бетон сборного элемента), «новый» бетон (бетон замоноличиваемого стыка), разогретая бетонная смесь, прочность сцепления бетонов «старого» и «нового».

Список литературы

1. Колчеданцев Л.М., Зубов Н.А., Рошупкин Н.П., Колчеданцев А.Л. Конструктивно-технологические решения сборно-монолитного здания экономического класса // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 37–39.
2. Колчеданцев А.М., Рошупкин Н.П. Жилье экономического класса – сборное, монолитное или сборно-монолитное? // Жилищное строительство. 2011. № 6. С. 24–25.

Реклама

## Лабораторные мельницы "Активатор" для заводских и исследовательских лабораторий.

**Активатор-2SL**

Для пробоподготовки материалов

**Активатор-4M**

Для наработки небольших партий материалов

**Активатор-2S**

Для помола материалов в ударном, сдвиговом, вихревом режимах

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

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

О.В. БОГОМОЛОВ, генеральный директор,  
 ЗАО «Инженерная компания «ИНТЕРБЛОК» (Москва)

## Как сократить затраты на тепловую энергию?

Тепловлажностная обработка бетонных и железобетонных изделий является важнейшей частью технологического процесса производства ЖБИ на предприятиях стройиндустрии. Затраты на производство пара для ТВО могут достигать 80–90% от общих затрат предприятия на тепловую энергию. Постоянно растущие цены на энергоносители приводят к росту стоимости производства тепловой энергии. Дополнительное увеличение стоимости теплоносителя приносит эксплуатация устаревших паропроизводящих котельных, паровые котлы которых, в силу конструктивных и эксплуатационных особенностей, не могут эффективно регулировать подачу пара в зависимости от потребностей завода. Производитель сборного железобетона вынужден принимать пар на производственную площадку даже при отсутствии необходимости в нем. В этих случаях пар просто выбрасывается в атмосферу.

Энергетический анализ паросилового хозяйства некоторых заводов ЖБИ, выполненный специалистами инженерной компании «ИНТЕРБЛОК», выявил значительный перерасход тепловой энергии при производстве бетонных и железобетонных изделий. Одной из причин завышенного потребления тепловой энергии являются устаревшие нормативы, которыми до настоящего времени пользуются предприятия ЖБИ при расчетах количества тепловой энергии на 1 м<sup>3</sup> железобетонных изделий, необходимой для их тепловой обработки, а также несовершенные устаревшие паровые котлы и другое теплоэнергетическое оборудование. В результате только один завод ЖБИ средней производительности может бесполезно выбрасывать в атмосферу от 15 до 30 млн р. в год.

В настоящее время предприятия используют СН 513–79 «Временные нормы для расчета расхода тепловой энергии при тепловлажностной обработке сборных бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях», разработанные в 1966 г. и переизданные в 1979 г. Этот документ декларирует использование (и соответственно оплату) теплоносителя (пара или нагретой воды) круглогодично, независимо от потребностей, включая выходные дни, время на проведение профилактических работ, отсутствие изделий в пропарочных камерах и т. п. В соответствии с указанными документами нормативный расход пара на тепловлажностную обработку 1 м<sup>3</sup> железобетонных изделий определяется в 0,2–0,4 Гкал. Средний расход тепла на предприятиях страны составляет 0,36 Гкал на 1 м<sup>3</sup>. Реальная потребность технологических процессов производства ЖБИ в тепловой энергии в 8–10 раз меньше.

Для обеспечения тепловлажностной обработки ЖБИ на предприятиях России и за рубежом успешно применяется современная технология производства парогазовоздушной смеси — технологического пара на основе применения парогенераторов серии ST. В течение многих лет эксплуатации парогенераторы серии ST подтверждают высокую эффективность работы на предприятиях России, Украины, Белоруссии, Казахстана, Великобритании, Канады, Китая, Норвегии, Польши, США, Южной Кореи.

Преимущества парогенераторов серии ST:

- высокая экономичность парогенератора — тепловой КПД 99%;
- время включения и выключения парогенератора 15 с;
- универсальность — один парогенератор производит как технологический пар, так и нагретую воду для технологических и бытовых нужд;
- давление технологического пара на выходе парогенератора не более 0,06 МПа;
- диапазон рабочей температуры пара 110–180°C;
- температура нагретой воды до 90°C;
- парогенератор не требует дымовой трубы;
- нет необходимости в сложных системах водоподготовки и деаэрации, используются простые системы умягчения воды;
- парогенераторы не требуют строительства фундаментов и могут устанавливаться в цехе в непосредственной близости от потребителей пара;
- применяемые виды топлива — природный газ, пропан, дизельное топливо.

Рассмотрим работу парогенераторов мгновенного действия серии ST в технологическом процессе тепловлажностной обработки железобетонных и бетонных изделий, представленном на рисунке.

После загрузки в камеры изделия выдерживаются в течение 2 ч (зона А). В это время за счет экзотермического процесса гидратации цемента температура в камерах поднимается до 30–35°C. После выдержки парогенератор включается на максимальный режим, и температура в камерах поднимается со скоростью 17–20°C/ч. Подъем температуры осуществляется в течение 3 ч (зона Б) до заданной температуры 60–70°C, после чего парогенератор переходит на минимальный режим работы и необходимая температура в камерах поддерживается в течение 6 ч (зона В). Затем парогенератор выключается, изделия набирают прочность в течение 3–4 ч (зона Г).

Цикл набора прочности бетонных изделий в пропарочных камерах длится 12–13 ч, из которых парогенератор работает в максимальном режиме в течение 2,5–3 ч, а в режиме минимального потребления топлива 5–6 ч.

Опыт эксплуатации этих парогенераторов на заводах КПД, ЖБИ и т. п. показал, что данная технология позволяет сократить расходы на производство пара при

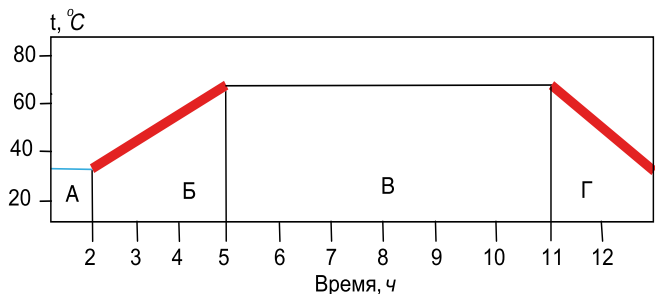


Диаграмма пропарки железобетонных изделий

изготовлении железобетона на 50–70%, а в некоторых случаях в несколько раз.

Например, затраты на тепловую энергию от централизованной котельной на Кировском ДСК Калужской области составляли 56160 р./сут. После создания автономной системы ТВО на основе применения парогенератора ST-502 затраты на тепловую энергию составили 2880 р./сут. Экономический эффект – около 16 млн р. в год.

Некоторые предприятия применяют для тепловлажностной обработки ЖБИ установки, в которых теплоносителем является нагретый воздух или продукты сгорания жидкого или газообразного углеводородного топлива, так называемый турбогаз. Применение горячего воздуха или турбогаза приводит к интенсивному испарению влаги из бетона, что отрицательно сказывается на полноте гидратации и процессах структурообразования в цементном камне, расположенном в поверхностном слое бетона, снижению прочностных характеристик железобетонных изделий. Возникает возможность попадания продуктов сгорания в производственный цех, что может создать опасность для здоровья людей. Применение подобных установок для ТВО недопустимо.

В целях модернизации паросилового хозяйства заводов ЖБИ, КПД, ДСК и других предприятий стройиндустрии инженерная компания «ИНТЕРБЛОК» выполняет работы по созданию автономных теплоэнергетических систем, замене устаревшего теплоэнергетического оборудования на современные парогенераторы мгновенного действия серии ST, автоматизации технологических процессов тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий.



**ИНТЕРБЛОК**  
ИНЖЕНЕРНАЯ КОМПАНИЯ

*15 лет  
успешной работы!*

**Технологии малой энергетики  
Технологии стройиндустрии**

107078, Москва,  
ул. Новая Басманная, д. 23, стр. 1А  
Тел. (495) 722-72-86, 728-92-93  
Факс (495) 656-07-00  
info@interblock.ru  
www.interblock.ru

**24–27 мая**

Хабаровск

XVI специализированная выставка

Архитектура  
**СТРОИИНДУСТРИЯ**

Город. Экология

Д В региона

**2012**

Фестиваль «ДВ Зодчество»

E-mail: stroy@khabexpo.ru  
Т./факс: (4212) 57-40-44, 56-61-29  
www.khabexpo.ru

Легкоатлетический манеж  
стадиона им. В.И. Ленина

ХАБАРОВСКАЯ



МЕЖДУНАРОДНАЯ

ЦЕНТРЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ НЕДВИЖИМОСТИ ДВ  
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

ВСЯ НЕДВИЖИМОСТЬ ХАБАРОВСКА  
Автопарк

SKATR.RU

ЯРМАРКА

РАДИО ПУБЛИК 106.8

Дальний Восток

СВОЁ ДЕЛО



Б.И. ТИХОМИРОВ, генеральный директор,  
А.Н. КОРШУНОВ, заместитель ген. директора по науке,  
ЗАО «Казанский Гипронефтеавиапром» (Казань, Республика Татарстан)

## Линия безопалубочного формования – завод КПД с гибкой технологией

Продукция существующих заводов КПД не соответствует современным, постоянно меняющимся рыночным требованиям к объемно-планировочным решениям квартир, поэтому перед заводами стоит задача перехода на гибкую систему панельного домостроения с одновременным снижением стоимости строительства жилья. В качестве альтернативы варианту дорогостоящей модернизации заводов по так называемой конвейерной технологии авторы предлагают домостроительную систему на базе широко известной технологии безопалубочного формования пустотных изделий, как в варианте ее использования на уже существующих производствах, так и на основе новых производств, что возможно в любых вариантах по их производительности.

В 2012 г. в ЗАО «Казанский Гипронефтеавиапром» поступил заказ на организацию производства сборных жилых домов на базе имеющихся заводов ЖБИ. *Первый вариант* – это завод, на котором есть только две технологические линии: линия безопалубочного формования пустотного настила и линия по производству мелких бетонных блоков на вибропрессе. Арматурный цех отсутствует. *Второй вариант* позволял использовать для сборных изделий оборудование и оснастку завода ЖБИ с номенклатурой под кирпичное домостроение и классической поточно-агрегатной технологией.

В связи с тем, что специалисты ЗАО «Казанский Гипронефтеавиапром» до обращения данного заказчика уже прорабатывали конструкцию этих зданий, условия на проектные решения, технологию заводского изготовления сборных изделий и монтажные работы были определены заранее.

**Проект.** Сборное здание с несущими стенами по периметру квартиры, пролет плит перекрытия на габариты квартиры, внутриквартирные перегородки из мелкоштучных элементов по аналогии с панельными домами по так называемой финской схеме (рис. 1); панели стен и плиты перекрытия из пустотных изделий безопалубочного формования, внутренние стены в виде крупных блоков однорядной разрезки, наружные стены – крупные блоки однорядной или двухрядной разрезки; в изделиях стен и перекрытий отсутствуют закладные детали для соединения изделий друг с другом; для связи изделий между собой в единую конструкцию здания служат монолитные обвязочные пояса над внутренними и сборно-монолитные над наружными стенами в уровне перекрытий и соединяющиеся с ними вертикальные монолитные каналы в пустотах крупных блоков стен или в их вертикальных стыках и горизонтальные монолитные каналы между плитами перекрытия и связевые арматурные стержни, расположенные в этих монолитных каналах с их анкерровкой в монолитных обвязочных поясах; при этом за счет конструктивных решений скорость монтажа здания не должна зависеть от времени набора бетоном марочной прочности; стоимость домов по данной технологии должна быть дешевле стоимости аналогичных домов в системе КПД.

**Завод.** Проектные решения по изделиям здания и конструкциям узлов здания должны исключать дополнительные капитальные затраты на модернизацию существующего завода с технологией безопалубочного формования при его переходе от выпуска просто перекрытий к выпуску перекрытий и стен здания (несущего каркаса); должны отсутствовать затраты на переналадку про-

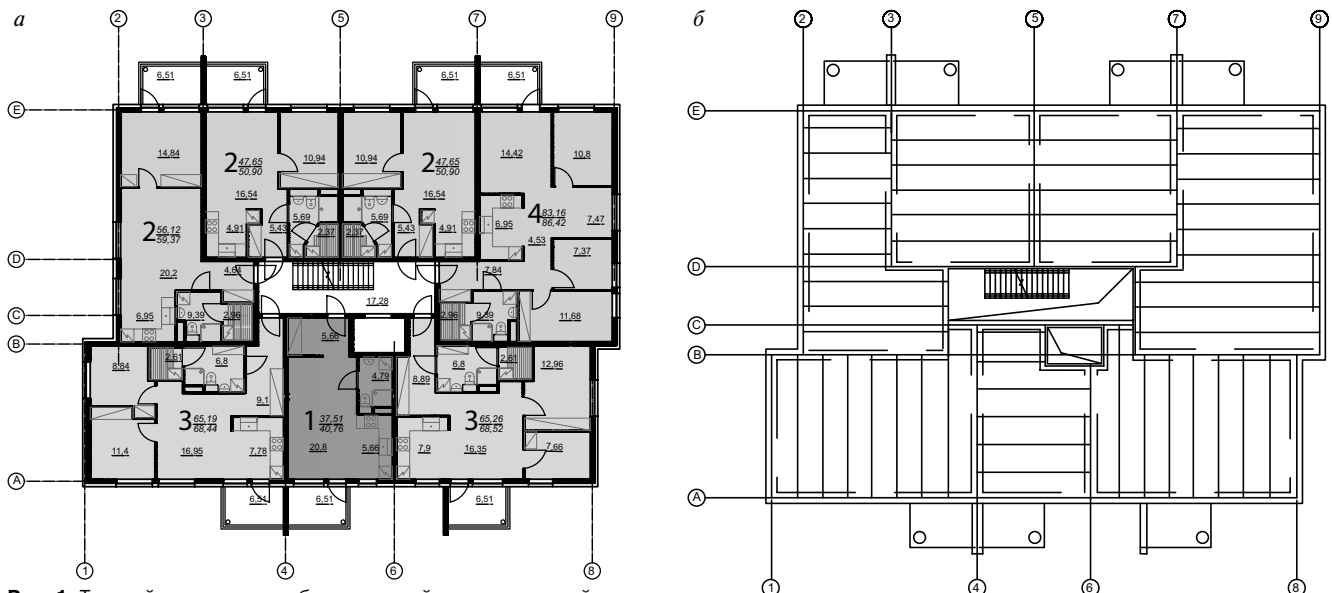


Рис. 1. Типовой этаж: а – план; б – монтажный план перекрытий

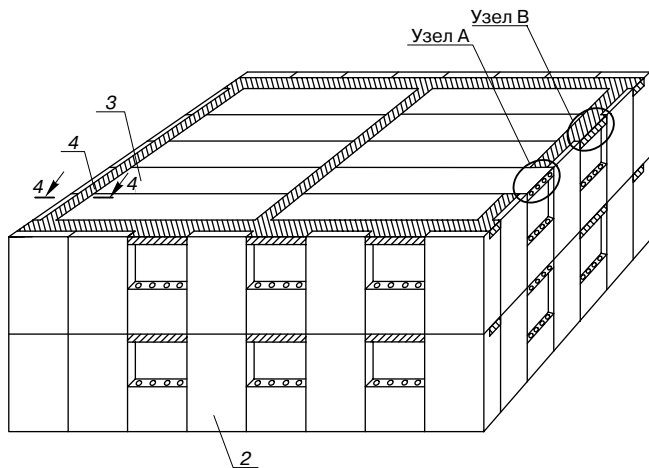


Рис. 2. Каркас здания

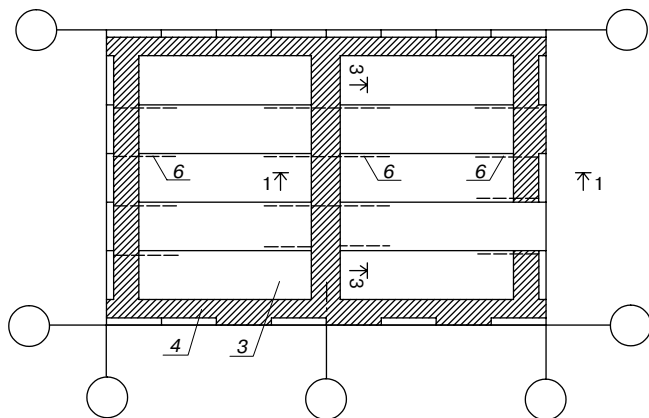


Рис. 3. План перекрытия здания

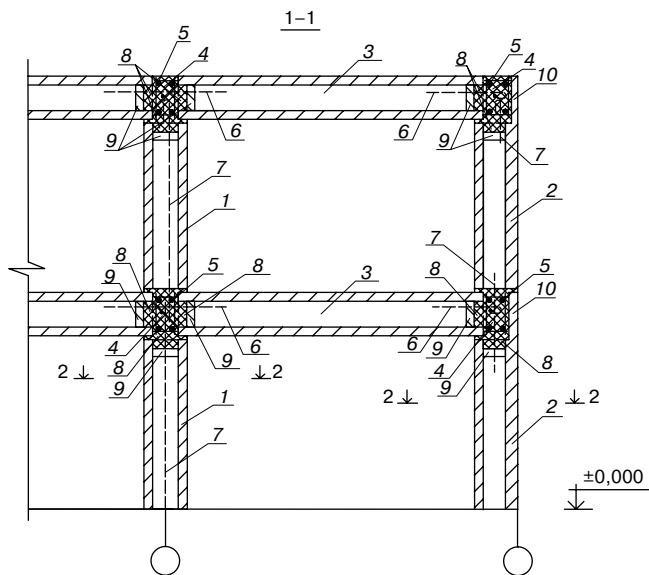


Рис. 4. Вертикальное сечение 1-1

изводства и дополнительную оснастку при переходе от выпуска изделий одного типа дома к следующему типу (производство не серийных, а индивидуальных домов по гибкой технологии); себестоимость  $1 \text{ м}^3$  железобетона на данном производстве должна быть меньше, чем на классическом заводе КПД; завод должен иметь несколько типов насадок к формирующему агрегату, чтобы на одних и тех же дорожках и на одном и том же оборудовании производить разные по конфигурации поперечного сечения изделия, например одна — для стено-

вых крупных блоков, которые в качестве межквартирных стен должны иметь звукопоглощение 55 Дб, а значит, и соответствующую массу  $1 \text{ м}^2$  площади; другая — для плит перекрытий пролетом до 9 м, оптимальная высота сечения которых 220 мм; при производстве крупноблочных межкомнатных перегородок они должны иметь толщину 80 мм; желательно производить сваи безопалубочного формования.

**Монтаж.** Скорость монтажа предлагаемого сборно-монолитного здания должна быть равна скорости монтажа сборного здания при большей его конструктивной и эксплуатационной надежности; высокая скорость монтажа, характерная для всех сборных зданий, обеспечивается за счет следующих конструктивных решений: при монтаже стеновых крупных блоков внутренних стен монтажные нагрузки от них воспринимают сборные плиты перекрытия, на которые они опираются, а набора бетоном монолитных обвязочных поясов проектной марки по прочности. Стеновые крупные блоки наружных стен одной своей стороной опираются на сборные плиты перекрытия, а другой стороной — на сборные элементы сборно-монолитного обвязочного пояса, до набора бетоном монолитного обвязочного пояса проектной марки по прочности.

Нельзя сказать, что не было попыток представить линию безопалубочного формования пустотных плит, как мини-ДСК, но это были не реальные проекты, а декларации о намерениях без проектов производств, производящих весь комплект несущих элементов здания. Предлагались варианты универсального каркаса, где пустотные плиты перекрытия присутствовали, но колонны и ригели необходимо было производить на другом оборудовании или другом заводе, или ригели были монолитными и сборно-монолитными, что переводило здание из разряда сборных в разряд сборно-монолитных с длительными сроками их монтажа. Кроме того, жилые здания в каркасной конструктивной схеме всегда дороже зданий в стеновой схеме из-за большего расхода материалов и большей трудоемкости.

Отечественные производители и поставщики импортных линий безопалубочного формования проделали большую работу по популяризации данной технологии. В результате этой работы линии по производству плит перекрытия в большом количестве присутствуют во всех регионах РФ. В Республике Татарстан существует семь таких линий. *Линии отечественных производителей* включают технологию вибропрессования; использование проволочной арматуры; производство изделий шириной 1,2 и 1,5 м, высотой до 400 мм; разрезку изделий как поперек, так и вдоль и под углом к их продольной оси. С отечественными производителями легко согласовывается требуемая конфигурация поперечного сечения изделий. *Линии импортных производителей* включают кроме вибропрессования и использования проволочной арматуры также и экструзионные линии, которые позволяют изготавливать пустотные изделия большей высоты и с ранним набором отпускной прочности бетона, а также линии с канатной арматурой, которая позволяет изделиям воспринимать большие усилия. Ширина плит перекрытия 1,2; 1,5; 2; 2,4 м. Широкие изделия выгодны при их использовании в стенах за счет сокращения вертикальных стыков. А узкие изделия используются в перекрытиях, что уменьшает грузоподъемность кранов на монтаже здания. На импортных линиях есть возможность производить железобетонные пустотные изделия с утеплителем в виде трехслойных панелей. Кроме того, в составе импортной линии может быть поставлена машина, образующая сразу после формующей машины, в теле сырого бетона пустотных изделий, проектные отверстия в автоматическом режиме с разметкой габаритов плит. Стоимость

импортной линии по производству пустотных изделий производительностью 200 тыс. м<sup>2</sup> в год от 2 до 2,5 млн евро. Стоимость отечественной линии производительностью 150–180 тыс. м<sup>2</sup> в год от 25 млн р. При условии, что соотношение площади межквартирных стен и перекрытий в здании 1:1, доля стоимости импортного оборудования на 1 м<sup>2</sup> жилья к его годовой мощности 20 евро на 1 м<sup>2</sup> жилья в год; отечественного оборудования равна от 4,2 евро на 1 м<sup>2</sup> жилья в год.

Если сравнить эти затраты со стоимостью импортного оборудования для конвейерной (паллетной) технологии модернизации ДСК в 14–15 млн евро для получения завода с гибкой технологией крупнопанельного домостроения производительностью в 400 тыс. м<sup>2</sup> жилья в год, разница, приведенная к мощности предприятия в 1 м<sup>2</sup>, будет в 1,8 раза по капитальным затратам в пользу импортной технологии безопалубочного формования и в 8,3 раза в пользу отечественной линии, и эта разница гораздо больше с учетом эксплуатационных и материальных затрат на производство.

При плановой проектной загрузке данных линий безопалубочного формования и при отчислениях в размере 1500 р. на погашение стоимости оборудования с 1 м<sup>2</sup> продаваемой площади квартир при цене в 30000 р./м<sup>2</sup> (5%) срок окупаемости импортной линии менее года, а отечественной – менее чем полгода, что говорит об эффективности технологии безопалубочного формования и соответственно о высокой эффективности предлагаемых проектных решений в домостроении, с комплексным использованием изделий данных производств.

Из вышесказанного следует, что существует большое количество работающих технологических линий безопалубочного формования, производящих в основном пустотные плиты перекрытия, в меньшем количестве сваи и перемычки. Отечественные производители данных технологических линий готовы видоизменить их или приспособить для организации производства на данном оборудовании панельных домов по гибкой технологии. В дополнении к существующему набору оборудования в составе импортных линий безопалубочного формования пустотного настила в отличие от отечественных линий имеется дополнительное оборудование, широко не востребованное, но очень нужное в производстве панельных домов по данной технологии, – это формующие агрегаты с функцией производства пустотных изделий с утеплителем и машины для образования отверстий в изделиях перекрытий и стен. На этих линиях можно производить панельные дома по гибкой технологии, и стоимость данных линий гораздо дешевле стоимости аналогичного оборудования с конвейерной схемой их производства. Единственное, в чем проигрывает безопалубочная технология конвейерной, это чистота поверхностей сборных изделий.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что необходимо конструктивное проектное решение для сборного здания, каркас которого в составе несущих стен и перекрытий можно изготавливать на линиях безопалубочного формования.

Предлагаемая конструкция здания (рис. 2–4) состоит из внутренних 1 и наружных 2 стен в виде крупных блоков, плит перекрытия 3, обвязочных сборномонолитных поясов 4. Крупные блоки внутренних 1 и наружных 2 стен, плиты перекрытия 3 изготавливаются на протяженном стенде безопалубочного формования, преимущественно с пустотами шириной от 1,2 до 2,4 м. За счет применения на формующем оборудовании быстросъемных насадок, имеющих различную конфигурацию выходного сечения, конфигурация поперечного сечения этих изделий 1, 2, 3 может быть различной и подбирается расчетным путем в зависимости от требований к изделию по прочности, звукоизоляции, кон-

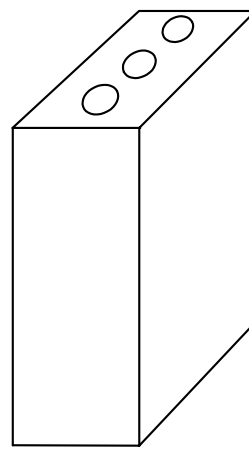


Рис. 5. Стеновой крупный блок с плоскими торцами

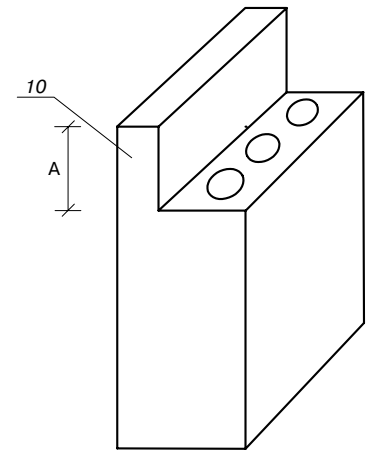


Рис. 6. Стеновой крупный блок с торцом в виде ступеньки

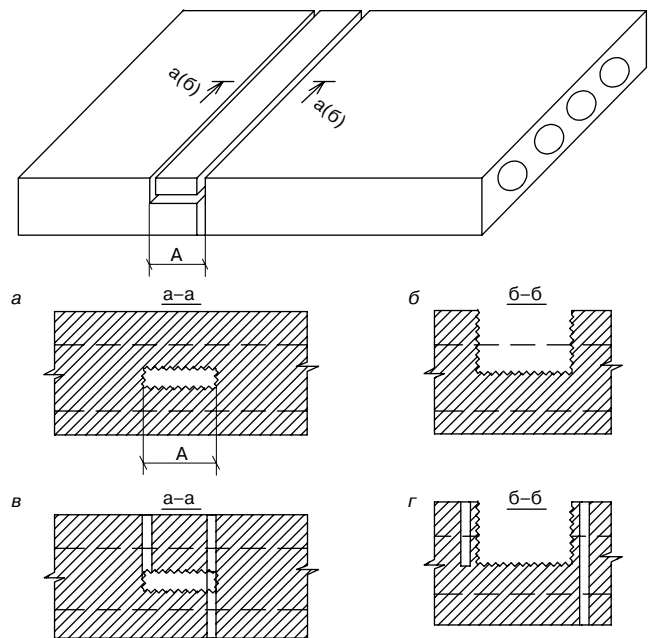


Рис. 7. Способы и этапы изготовления ступеньки в торце многупустотного изделия

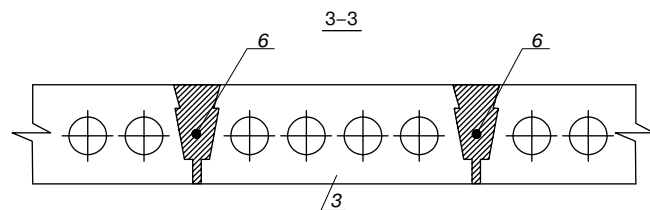


Рис. 8. Сечение 3–3 перекрытия

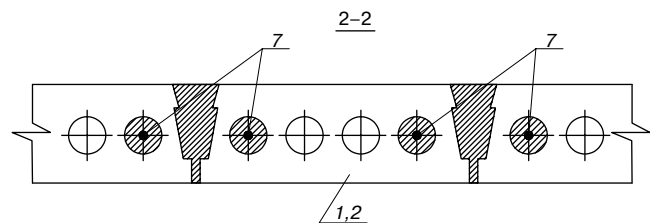


Рис. 9. Сечение 2–2 стен здания



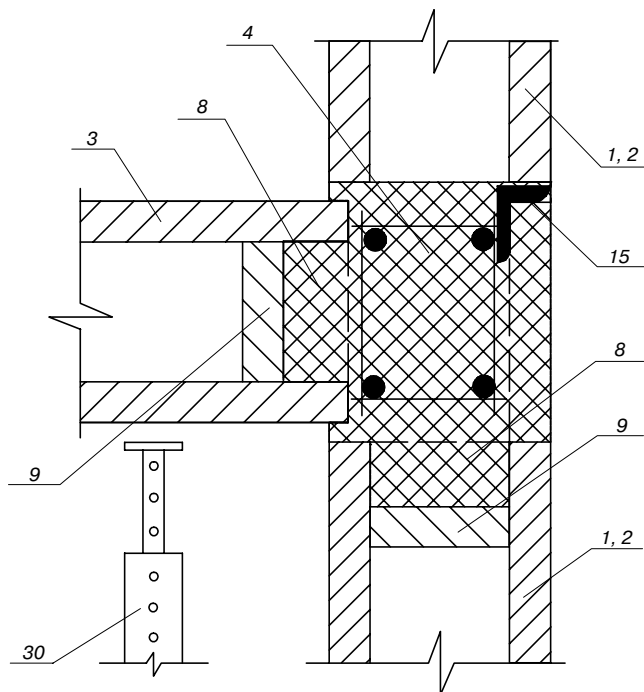


Рис. 10. Вариант опирания плиты перекрытия в зоне стенового проема с монолитными шпонками

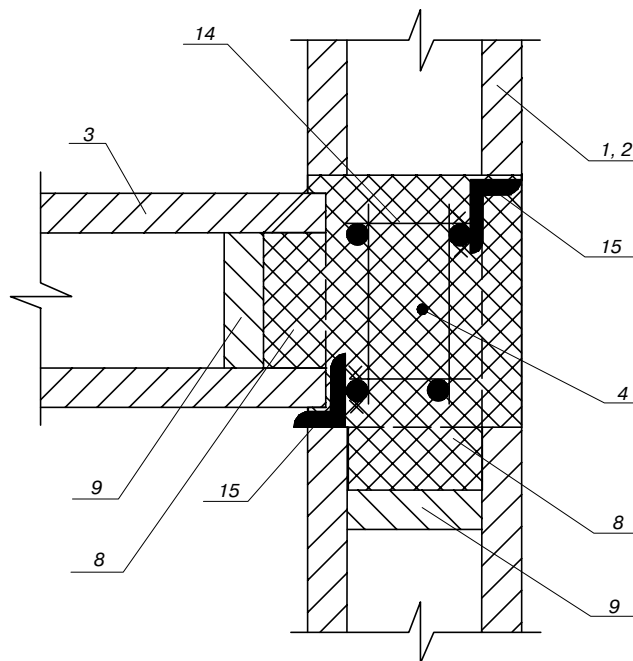


Рис. 11. Вариант опирания плиты перекрытия в зоне стенового проема на жесткий арматурный каркас

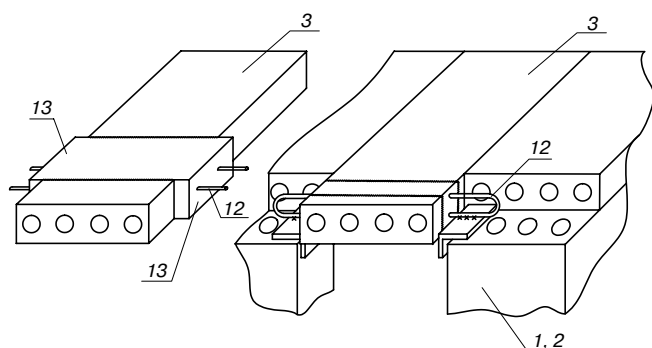


Рис. 12. Вариант опирания плиты перекрытия в зоне стенового проема с опиранием через закладные металлические элементы

струкции узлов. Конструкция сборно-монолитных обвязочных поясов 4 может быть в нескольких вариантах в зависимости от объемно-планировочных решений здания, или в зависимости от экономических предпочтений заказчика: увеличения в составе обвязочных поясов доли сборного или монолитного решения, или в зависимости от наличия или отсутствия требуемой дополнительной формирующей насадки. Два варианта конструкций таких зданий по условиям вышеназванного заказчика приводятся ниже.

**Вариант 1.** По первому варианту нужно было собрать несущий каркас здания с использованием только изделий линии безопалубочного формования.

На рис. 2–4 показан вариант здания с минимальным набором сборных конструктивных элементов, из которых собирается каркас здания. В этом варианте достаточно одной формирующей насадки для производства стен 1, 2, перекрытий 3 и сборно-монолитных обвязочных поясов 4. В данном варианте рассматривается только ширина изделия 1,2 м. После набора бетоном, отформованного протяженного массива безопалубочного формования, отпускной прочности он нарезается на изделия требуемой длины. Поверхности торцов изделий в виде крупных блоков внутренних 1, наружных 2 стен,

плит перекрытий 3, которые образуются при обрезании преднапряженной арматуры и бетона механической дисковой пилой, могут иметь два варианта поверхностей торцов. Первый вариант (рис. 5), когда поверхность торца изделия расположена в одной плоскости за счет того, что дисковая пила осуществила прорезание поверхности крупного блока на всю высоту его сечения. Второй вариант (рис. 6), это когда на поверхности торца изделия образуется ступенька. Данная ступенька изготавливается в изделии в две стадии (рис. 7). Первая стадия – это когда технологические операции по формированию ступеньки проводятся в теле свежесформованного, незатвердевшего бетона; вторая стадия – это когда технологические операции проводятся после набора бетоном отпускной прочности. На первой стадии (рис. 7, а, б) в свежесформованном бетоне выбирается продольный сквозной паз на всю ширину изделия длиной, равной высоте ступеньки «А» (рис. 7, а), или ступенька вытрамбовывается в теле свежего бетона (рис. 7, б). На второй стадии (рис. 7, в, г) двумя вертикальными пропилами по отвердевшему бетону оформляется торец в виде ступеньки; один пропил делается до пересечения с уже сделанным горизонтальным пазом; второй пропил делается на всю высоту сечения изделия. Такими же пропилами выравниваются поверхности ступеньки, предварительно полученной вытрамбовыванием (рис. 7, в, г). Из полученных на стенде безопалубочного формования сборных железобетонных изделий с одинаковыми поперечными сечениями (одна формирующая насадка), с вышеназванными опалубочными размерами торцов в виде ступенек или плоских сечений, с усиленным армированием растянутой зоны изделия у плит перекрытия 3 и с симметричным армированием крупных стеновых блоков 1, 2 относительно продольной горизонтальной оси их поперечного сечения собирается здание следующей конструкции.

Монтируются и фиксируются с помощью монтажных раскосов наружные стены из крупных блоков 2, у которых верхний торец имеет форму ступеньки (рис. 6); внутренние продольные и поперечные стены здания собираются из вертикально установленных крупных блоков 1 с плоскими нижними и верхними торцами

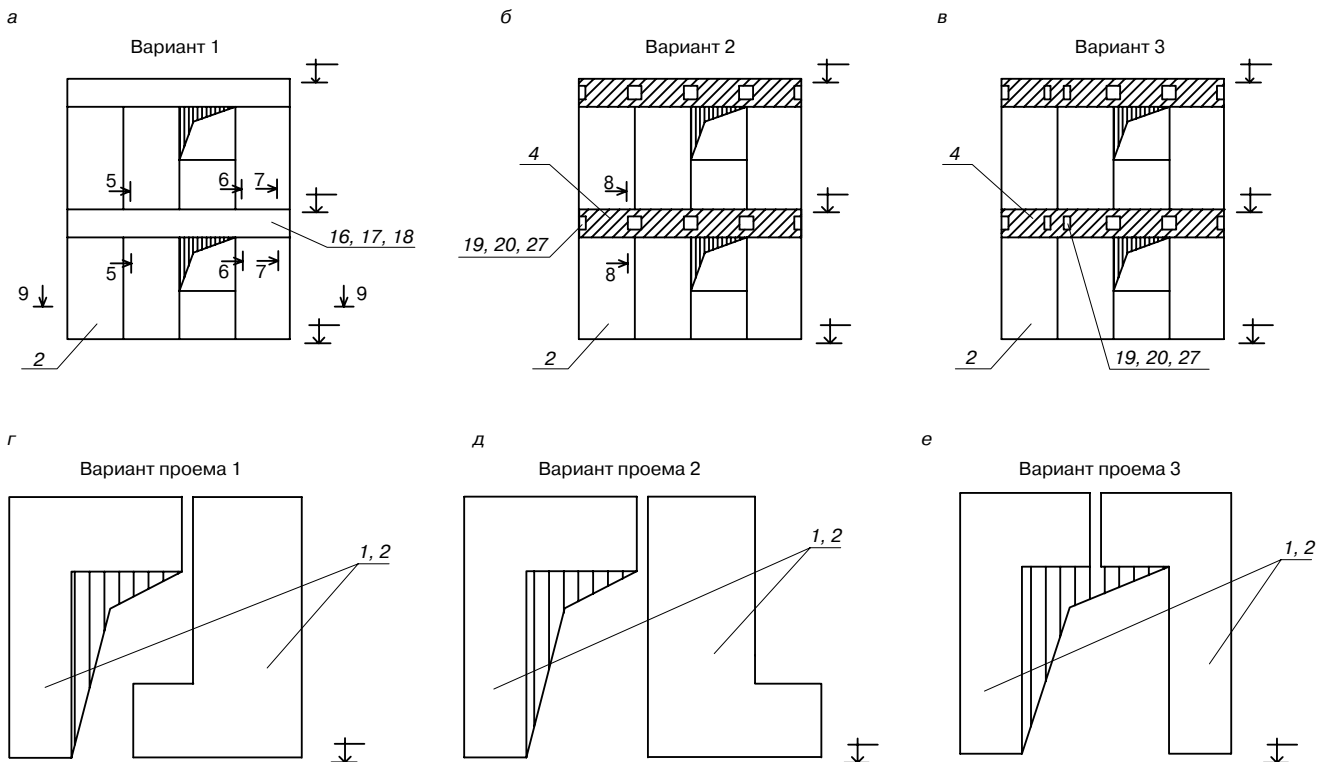


Рис. 13. Варианты двухрядной разрезки наружной стены и варианты образования проемов

(рис. 5), на которые опираются плиты перекрытия 3 поперечными торцами или заводятся на них своими продольными торцами. По верхним торцам (рис. 4) крупных блоков внутренних 1 и наружных 2 стен устанавливается арматура 5 обвязочных сборно-монолитных поясов 4; в тело будущих обвязочных монолитных поясов 4 на величину анкеровки заводятся связевые арматурные стержни 6 диска перекрытия (рис. 3, 4, 8), устанавливаемые в горизонтальные монолитные каналы, в швах между плитами перекрытия 3, а также связевые арматурные стержни 7 крупных блоков внутренних 1 и наружных стен 2, выполняемые в виде коротких стержней, или в варианте восприятия ими усилий на прогрессирующее (несанкционированное) обрушение здания в виде стержней длиной на всю высоту крупных стеновых блоков 1, 2 с их анкерровкой в монолитных обвязочных поясах 4. Связевые арматурные стержни 7 устанавливаются в имеющихся вертикальных каналах в виде пустот в стеновых крупных блоках (рис. 9). После установки и фиксации арматуры монолитные обвязочные пояса заливается бетоном до уровня верхней отметки пустотных плит перекрытия 3. Одновременно бетон заливается в пустоты крупных стеновых блоков 1, 2, плит перекрытия 3 и в вертикальные швы между ними, где установлены связевые арматурные стержни 6, 7 и в шпонки 8, образованные в пустотах крупных стеновых блоков 1, 2 и плит перекрытия 3 за счет наличия в данных пустотах ограничительных пробок 9 (рис. 3, 10, 11).

После бетонирования монолитных обвязочных поясов 4 монтируют крупные стеновые блоки 1, 2 вышестоящего этажа.

В связи с тем, что при монтаже внутренних стен, крупные стеновые блоки 1 вышестоящего этажа опираются не на монолитные обвязочные пояса 4, а на сборные элементы здания в виде пустотных плит перекрытия 3, монтаж внутренних стен ведется без ожидания достижения бетоном монолитных обвязочных поясов 4 проектной прочности. То же самое относится и к монта-

жу крупных стеновых блоков 2 наружных стен, которые опираются одним своим концом на плиты перекрытия 3, а другим концом – на ступеньку 10 торца крупного блока 2 нижележащего этажа (рис. 4).

В месте оконных и дверных проемов опирание плит перекрытия 3 и опирание крупных блоков стен 1, 2 вышестоящих этажей может быть в нескольких вариантах:

- опирание плит перекрытия 3 на монтажные телескопические стойки 30, показанные на рис. 10, с последующим замоноличиванием шпонок 8 плит перекрытия 3 в теле обвязочного сборно-монолитного пояса и проектным опиранием плит перекрытия 3 через эти шпонки 8 на сборно-монолитный обвязочный пояс 4 после достижения бетоном проектной прочности и демонтажа монтажных телескопических стоек 30;

- опирание крупных блоков стен 1, 2 вышестоящих этажей на плиту перекрытия 3 и прокатные металлические профили 15, опертые на соседние стеновые блоки и приваренные к арматурному каркасу (рис. 10) обвязочного сборно-монолитного пояса 4;

- опирание плиты перекрытия 3 (рис. 12) через закладные металлические элементы 12 или через наформованные бетонные консоли 13 на крайние простеночные крупные стеновые блоки 1, 2; в этом варианте плита перекрытия 3 имеет замоноличенные поперечные арматурные выпуски 12 для их стыковки с арматурой сборно-монолитного обвязочного пояса 4; соответственно плита перекрытия длиннее соседних на ширину монолитного обвязочного пояса. Замоноличивание поперечных арматурных выпусков 12 в теле плиты перекрытия 3 осуществляется методом локального обрушения бетона над пустотами после установки арматурных выпусков 12 в пробитые отверстия и замоноличивания их через вышеуказанные обрушенные пустоты или методом вытрамбовывания поперечного канала в теле плиты, установки в нем арматурных выпусков 12 с последующим формованием бетонных консолей 13 и заливкой бетоном поперечного канала в теле плиты 3. Все эти операции проводятся в теле свежего бетона;

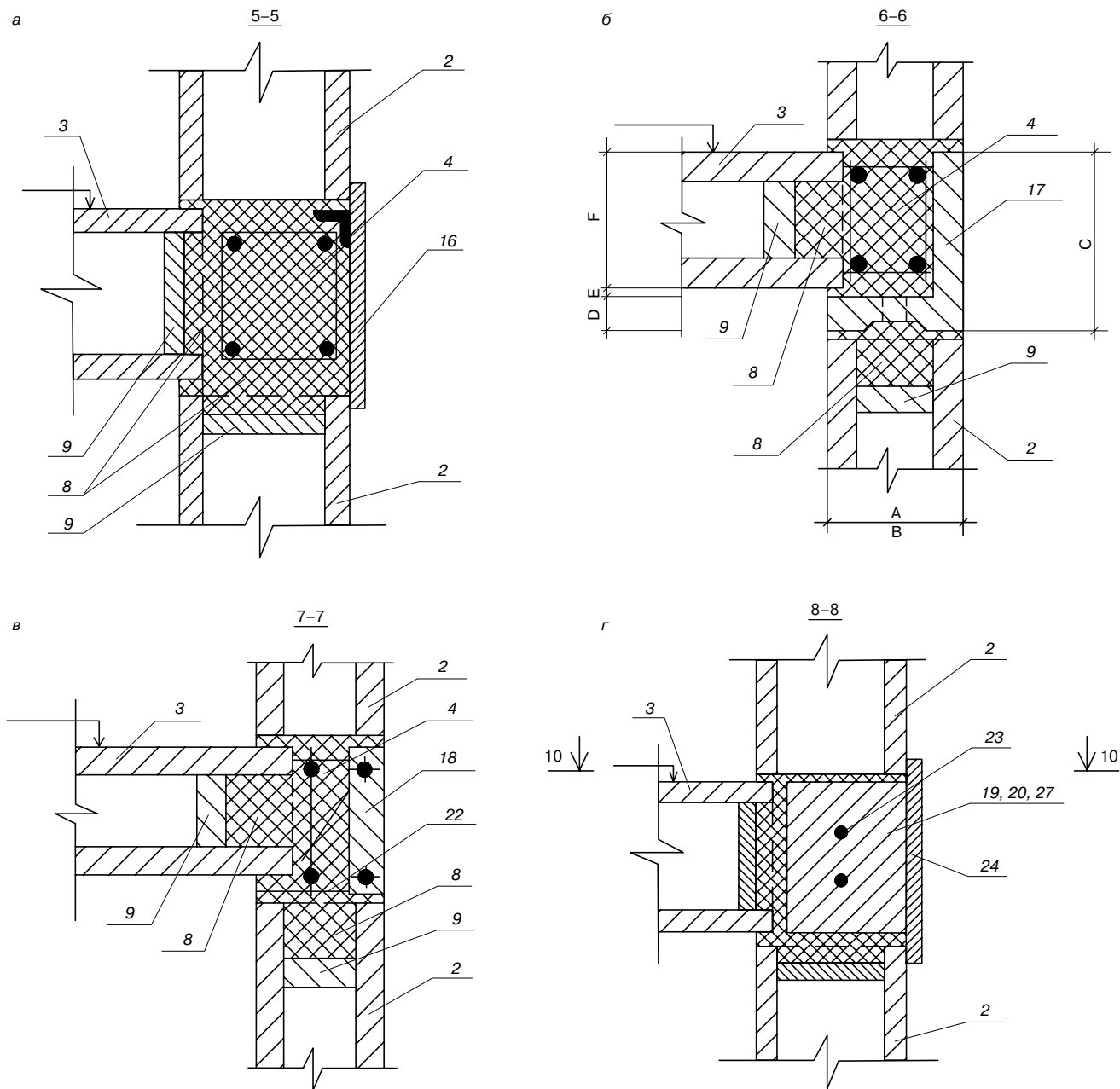


Рис. 14. Вариант сборно-монолитного обвязочного пояса: а – сечение 5-5; б – сечение 6-6; в – сечение 7-7; г – сечение 8-8

– опирание (рис. 11) на жесткий арматурный каркас 14, рассчитанный на монтажные нагрузки от плиты перекрытия 3 и крупных стеновых блоков 1, 2, который специально установлен в проеме и является продолжением арматуры сборно-монолитного обвязочного пояса 4 и имеет в своем составе отдельные прокатные металлические профили 15 для опирания плит перекрытия 3 и металлические профили 15 для опирания на них крупных стеновых блоков 1, 2 вышележащего этажа; после бетонирования сборно-монолитного обвязочного пояса 4 металлические профили 15 крепятся к арматурному каркасу 14 и дополнительно опираются на соседние крупные стеновые блоки 1, 2.

**Вариант 2.** На (рис. 13) показаны варианты зданий, в которых крупные стеновые блоки наружных стен 2 не имеют в своем составе, в торце стенового блока ступеньки 10 для монтажного опирания на нее стеновых блоков вышележащего этажа, что упрощает заводское производство крупных наружных стеновых блоков 2, которые

имеют два плоских торца (рис. 5). Сечение крупных стеновых блоков 1, 2 и плит перекрытия 3 может иметь разную высоту за счет применения при безопалубочном формировании массива разных формирующих насадок, а их ширина может быть от 1,2 до 2,4 м.

При этом для монтажного опирания крупных стеновых блоков 2 вышележащих этажей, а также для создания монолитного обвязочного пояса необходим один из предложенных на выбор дополнительных сборных элементов 16, 17, 18, 19, 20, 27 в составе сборно-монолитного обвязочного пояса 4, который монтируется с отметкой его верха, равной отметке верха диска перекрытий; кроме того, он является несъемной опалубкой для заливки монолитного бетона в обвязочную балку, и к нему крепится съёмная инвентарная опалубка; он может иметь следующие виды:

– рис. 13, а, г; рис. 14, а. Инвентарная съёмная опалубка 16, служащая для заливки монолитных обвязочных поясов 4 бетоном; данная опалубка одновременно



имеет опорные поверхности и соответствующую жесткость для опирания на нее крупных бетонных блоков 2 вышестоящих этажей. Опалубка демонтируется после набора бетоном проектной марки по прочности;

– рис. 13, а, г; рис. 14, б, разрез 6–6. Сборно-монолитный обвязочный пояс 4 в поперечном сечении 6–6 сборный элемент 17 имеет форму уголка, у которого одна полка опорная, а другая полка наружная. Он изготавливается на стенде безопалубочного формования, либо как отдельный элемент, либо как сдвоенный в виде лотка, либо в виде тавра с последующим их продольным разрезанием на стенде;

– сборная балка сборно-монолитного обвязочного пояса 4 (рис. 13, а, г; рис. 14, в, разрез 7–7) состоит из железобетонного бруса 18, служащего опорой для крупных стеновых блоков вышележащих этажей 2 и одновременно несъемной опалубкой для монолитного бетона в сборно-монолитном обвязочном поясе 4. Железобетонный брус 18 имеет арматурные выпуски 22 в виде продольных, поперечных и вертикальных арматурных стержней, которые становятся рабочей и конструктивной арматурой монолитного обвязочного пояса 4 после заливки его бетоном. Нижние арматурные выпуски 22 защемляются между крупными стеновыми блоками 2 и плитой перекрытия 3 после ее монтажа; данная фиксация сборной балки 18 достаточна для заливки и уплотнения бетона в монолитный обвязочный пояс и для последующего опирания на нее крупных стеновых блоков 2 вышележащих этажей;

– сборная балка сборно-монолитного обвязочного пояса (рис. 13, б–е; рис. 14, г) состоит из цепочки железобетонных мелких блоков 19, служащих опорой для крупных стеновых блоков вышележащих этажей. Мелкие блоки 19 установлены с разрывом и жестко соединены друг с другом в балку продольными арматурными стержнями 23 (рис. 15) с расчетным сечением. Мелкие блоки 19 имеют высоту, равную высоте плит перекрытия 3, они могут иметь сквозные отверстия в гранях (от 2 до 3 отверстий). Разрыв между мелкими блоками 19 устанавливается из условия установки на один блок двух соседних крупных стеновых блоков 2 вышележащего этажа (рис. 13, б, д), или под каждый крупный стеновой блок 2 устанавливаются два индивидуальных мелких блока 19 (рис. 13, в, е). С внешней стороны здания устанавливается опалубочный щит 24, который крепится к сборной балке. В пространство между опалубочным щитом и торцами плит перекрытия заливается монолитный бетон до уровня плит перекрытия;

– отдельные мелкие бетонные блоки 20, имеющие арматурные выпуски или петли 25, в том числе из тросов, для соединения блоков друг с другом в непрерывно армированный пояс (рис. 16); в том числе они могут иметь замоноличенные анкерные выпуски 21 для их установки в швы плит перекрытия и арматурные выпуски 7 для их установки в пустотные каналы 28 крупных стеновых блоков или в швы между блоками 29 (рис. 18). Мелкие блоки 20 устанавливаются в проектное положение, после чего устанавливаются соединительные арматурные скобы 26 или стержни, образующие арматурный каркас сборно-монолитного обвязочного пояса. К блокам крепится опалубочный щит 24 (рис. 14, г; 15), заливается монолитный бетон 4 до уровня плит перекрытия;

– отдельные бетонные блоки 27, в том числе изготовленные методом вибропрессования, устанавливаются в проектное положение. Через пустоты, имеющиеся в блоках, пропускается арматура 5, 7, 21, 23 монолитного обвязочного пояса 4; к блокам крепится опалубочный щит 24 (рис. 15), заливается монолитный бетон в обвязочные пояса 4 до уровня плит перекрытия 3;

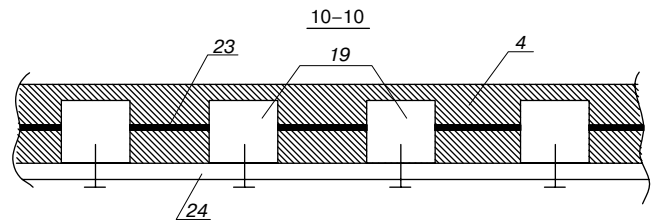


Рис. 15. Сечение 10–10 сборно-монолитного обвязочного пояса

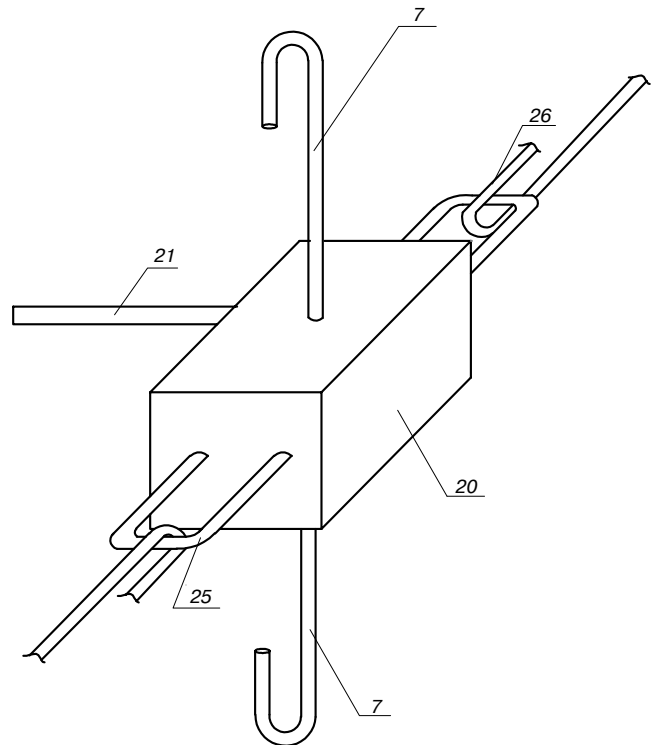


Рис. 16. Отдельный мелкий бетонный блок сборно-монолитного обвязочного пояса

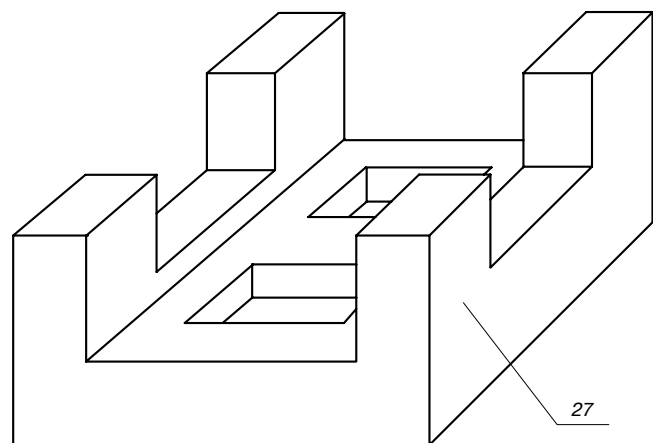


Рис. 17. Сечение 9–9 наружной стены

– рис. 13, разрез 9–9; рис. 18. Связевые арматурные стержни 7 крупных блоков внутренних 1 и наружных стен 2 в отличие от здания, показанного на (рис. 2–4), устанавливаются не в пустоты блоков 28, а в вертикальный канал в виде шва 29 стыка этих блоков, для чего продольные боковые поверхности крупных блоков имеют специальные пазы. Размеры паза должны обеспечивать возможность установки связевых арматурных

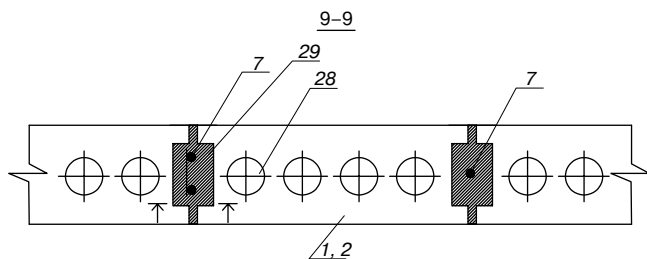


Рис. 18. Отдельный мелкий бетонный блок сборно-монолитного обвязочного пояса

стержней 7 с фиксаторами и прохождения булавки вибратора для уплотнения бетона на всю высоту стенового блока. Совмещение вертикального канала для связевых арматурных стержней 7 со швом стыка крупных стеновых блоков 1, 2 уменьшает трудоемкость на монтаже здания и улучшает звукоизоляционные характеристики стыков.

Монтаж здания осуществляется в той же последовательности, что и для вышеприведенного 1-го варианта.

Таким образом, данное техническое решение позволяет монтировать помещения квартир, а из них группировать здания с произвольными размерами по ширине, длине и высоте из элементов стандартных сечений, изготовленных на линии безопалубочного формования пустотных изделий за счет изменения их количества и габаритов длины в перекрытиях и стенах и возможности дополнительно применять доборные изделия, изготовленные из стандартных изделий за счет их продольной резки дисковой пилой. В данном техническом решении увеличение вариантов объемно-планировочных решений сборных крупнопанельных зданий получено без увеличения количества формооснастки, с уменьшением

трудоемкости заводского изготовления за счет отсутствия в изделиях закладных деталей и сложного армирования, отсутствия необходимости переналаживать формы под новый вид изделий. При этом скорость монтажа высокая и остается на уровне скорости монтажа полносборного крупнопанельного здания за счет наличия в сборно-монолитных обвязочных поясах сборных элементов, которые вместе с монтажными приспособлениями воспринимают монтажные нагрузки от вышестоящих этажей до набора монолитным бетоном обвязочных поясов, а также вертикальных и горизонтальных каналов в стенах и перекрытиях, проектной марки по прочности.

Стоимость 1 м<sup>3</sup> железобетона, произведенного на линии безопалубочного формования, от 1,7 раза меньше, чем произведенного на заводе КПД. Приведенные сечения (в плотном теле) пустотных плит перекрытия высотой 220 мм, как правило, на 25–27% меньше распространенной толщины внутренних стен и перекрытий КПД в 160 мм. Эти два фактора позволяют сэкономить от 5% стоимости квадратного метра здания, построенного по данной конструктивной схеме и с использованием оборудования безопалубочного формования при индивидуальных планировках квартир и всего здания.

ЗАО «Гипронииавиапром» совместно с производителями линий безопалубочного формования готов помож с внедрением данной системы домостроения на действующих линиях и как технологический институт готов спроектировать новые заводы и цеха по оптимальным решениям, например в варианте бескрановых облегченных зданий.

**Ключевые слова:** сборное здание, линия безопалубочного формования, узлы здания, виброформование, экструзия, сборно-монолитный обвязочный пояс, гибкая технология.

Реклама

# МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

НА РАСТВОРОБЕТОННЫХ УЗЛАХ И СТРОЙПЛОЩАДКАХ



## АЛЬТЕРНАТИВА сухим строительным смесям

**ETC**

Группа компаний «Единая Торговая Система»

Компания ETC предлагает строительным организациям поставку «ПРЕМИКСОВ» -предварительно смешанных химических компонентов сухих строительных смесей.

«ХИМИЯ» - наша,  
«МИНЕРАЛКА» - ваша.

Реальная экономия до  
**3 000** рублей  
на тонну готовой продукции.

УДК 666.982

М.Ю. ГРАНИК, канд. техн. наук, зав. лабораторией технологии декоративных и модифицированных бетонов, П.И. ГРИГОРЬЕВА, Н.В. ПЛАКСЕНКО, инженеры, ОАО «ЦНИИЭП жилища» (Москва)

## Механизированное изготовление декоративных ковров для заводской отделки крупнопанельных зданий

В течение нескольких лет в ЦНИИЭП жилища совместно с рядом других организаций проводятся исследования по разработке и применению декоративных фасадных покрытий для отделки бетонных поверхностей, в том числе панелей наружных стен и панелей ограждения лоджий. Суть технологии, предлагаемой институтом, заключается в использовании предварительно изготовленных декоративных ковров, в которых фактурный слой нанесен на гибкую основу. Проведенные ранее исследования показали, что разработанные декоративные ковры имеют высокие архитектурные, конструктивные, технологические и эксплуатационные качества и могут эффективно применяться для отделки наружных ограждающих элементов заводского изготовления.

В настоящее время сформулированы основные принципы предлагаемой технологии, в которых учтены результаты экспериментальных исследований, отобраны перспективные материалы, определены конструктивные решения ковров, проверены технологические приемы изготовления изделий с декоративными коврами на различных этапах производства. Наиболее сложным этапом рассматриваемой технологии является непосредственное изготовление многослойных декоративных ковров. Ручной способ не производителен, не позволяет выпускать ковры со стабильными цветовыми характеристиками. Поэтому для массового применения этой технологии в заводском домостроении необходимо разработать оборудование для механизированного изготовления декоративных ковров и провести его производственную проверку. Соответственно требуют адаптации

и составы, которые применялись для выпуска ковров ручным способом, как по расходу компонентов, так и по пропорциям компонентов. При использовании декоративных штукатурок, выпускаемых специализированными зарубежными фирмами, необходимо существенно модифицировать их составы, что невозможно без согласования с изготовителем или правообладателем.

Изготовление декоративных ковров можно организовать на отдельном участке как на самом предприятии полносборного домостроения недалеко от формовочного поста, так и в любом другом месте, территориально отстоящем от основного производства. Участок необходимо размещать в отапливаемом помещении с температурой не ниже 18–20°C. Принципиальная схема участка по производству декоративных ковров представлена на рис. 1. На участке размещены следующие посты:

- промежуточного складирования основных и вспомогательных материалов;
- дозирования и перемешивания материалов;
- по нанесению различных видов смесей для декоративных ковров на специализированной установке;
- ускоренной сушки ковров в камере с принудительной вентиляцией;
- обрезки ковров и крепления защитного слоя;
- комплектации и хранения готовых декоративных ковров.

Участок занимает пролет 6×18 м. При необходимости участок может быть размещен на площади не прямоугольной формы, но равной 100–110 м<sup>2</sup> и позволяющей установить требуемое оборудование. Производительность участка ориентировочно составляет 25–35 м<sup>2</sup>

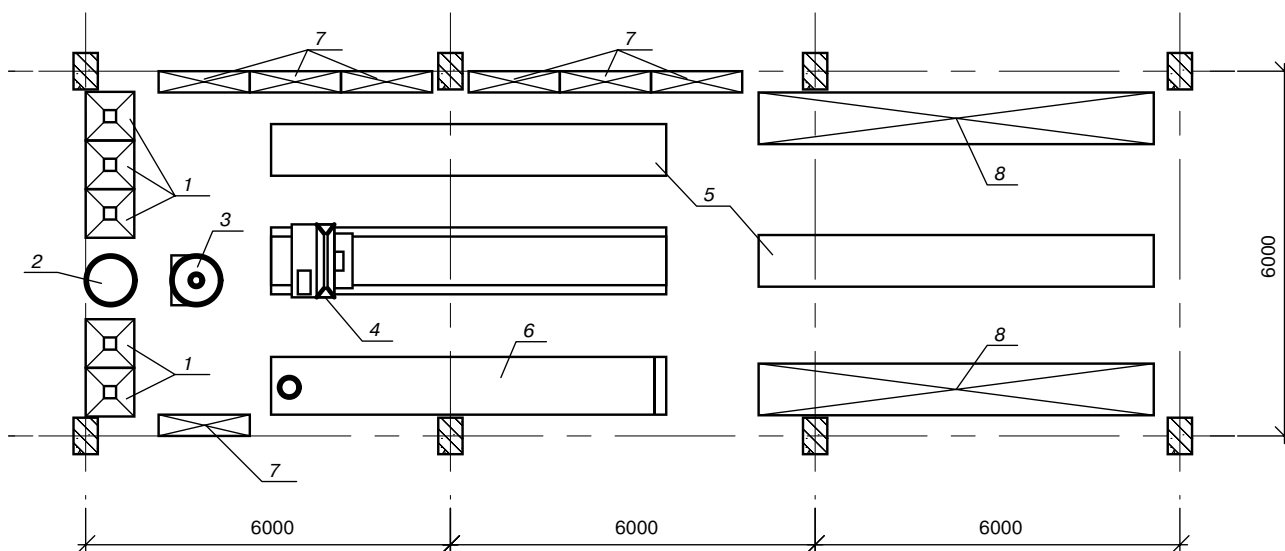


Рис. 1. Схема производственного участка для изготовления декоративных ковров: 1 – бункеры для хранения каменной крошки и песка; 2 – емкость для хранения полимера; 3 – смеситель для перемешивания компонентов (с дозатором); 4 – установка для нанесения декоративного покрытия; 5 – станды для вспомогательных операций; 6 – камера сушки с принудительной вентиляцией; 7 – место для хранения дополнительных материалов; 8 – стеллажи для хранения готовых декоративных ковров





Рис. 2. Общий вид опытной формовочной установки

декоративных ковров в час и определяется в основном возможностями установки для нанесения декоративного покрытия. Помимо установки на производительность оказывают влияние режим сушки ковров и количество сменных поддонов. Ковры целесообразно изготавливать длиной, равной длине панели, поэтому габариты установки и размер поддонов должны быть соответствующими. На рис. 1 представлен участок по выпуску ковров размером до 6 м.

Изготовление декоративных ковров предъявляет повышенные требования к качеству применяемых материалов, поэтому все получаемые сырьевые компоненты должны проходить дополнительную подготовку – фракционирование и очистку от примесей и инородных

включений. Эти операции могут выполняться или на самом участке, или в местах хранения всей партии материала. Полимерные композиции также требуют предварительной подготовки, связанной с удалением сгустков и пленок. В холодное время года заполнители и полимер необходимо подогреть до температуры не менее 15°C. Перемещение материалов, бункеров, поддонов, готовых ковров может осуществляться как вручную, так и при помощи тельфера небольшой грузоподъемности.

Изготовление декоративных ковров на представленном участке выполняют в следующей последовательности. На рабочем поддоне производят укладку геотекстиля и устройство анкеров, при этом поддон устанавливают на одном из стендов для вспомогательных операций 5. Одновременно осуществляют дозирование и приготовление смеси для уплотняющего слоя. Затем поддон перемещают на раму формовочной установки 4, подготовленную смесь загружают в съемный бункер и укладывают уплотняющий слой. После этого поддон со свежесформованным слоем снимают с установки и помещают в сушильную камеру 6 на 1–1,5 ч. По окончании сушки поддон с заготовкой ковра извлекают из камеры и вновь устанавливают на раму формовочной установки. В то же время выполняют операции по дозированию, приготовлению смеси для декоративного слоя и загрузки ее в съемный бункер. Производят укладку декоративного слоя, поддон с ковром снимают с установки и опять помещают в сушильную камеру 6 на 1–1,5 ч. Далее поддон с ковром возвращают из сушильной камеры и устанавливают на одном из стендов для вспомогательных операций 5, где снимают ковер с поддона, переворачивают его фасадной поверхностью вниз и обрезают под требуемый размер. Затем устраивают за-

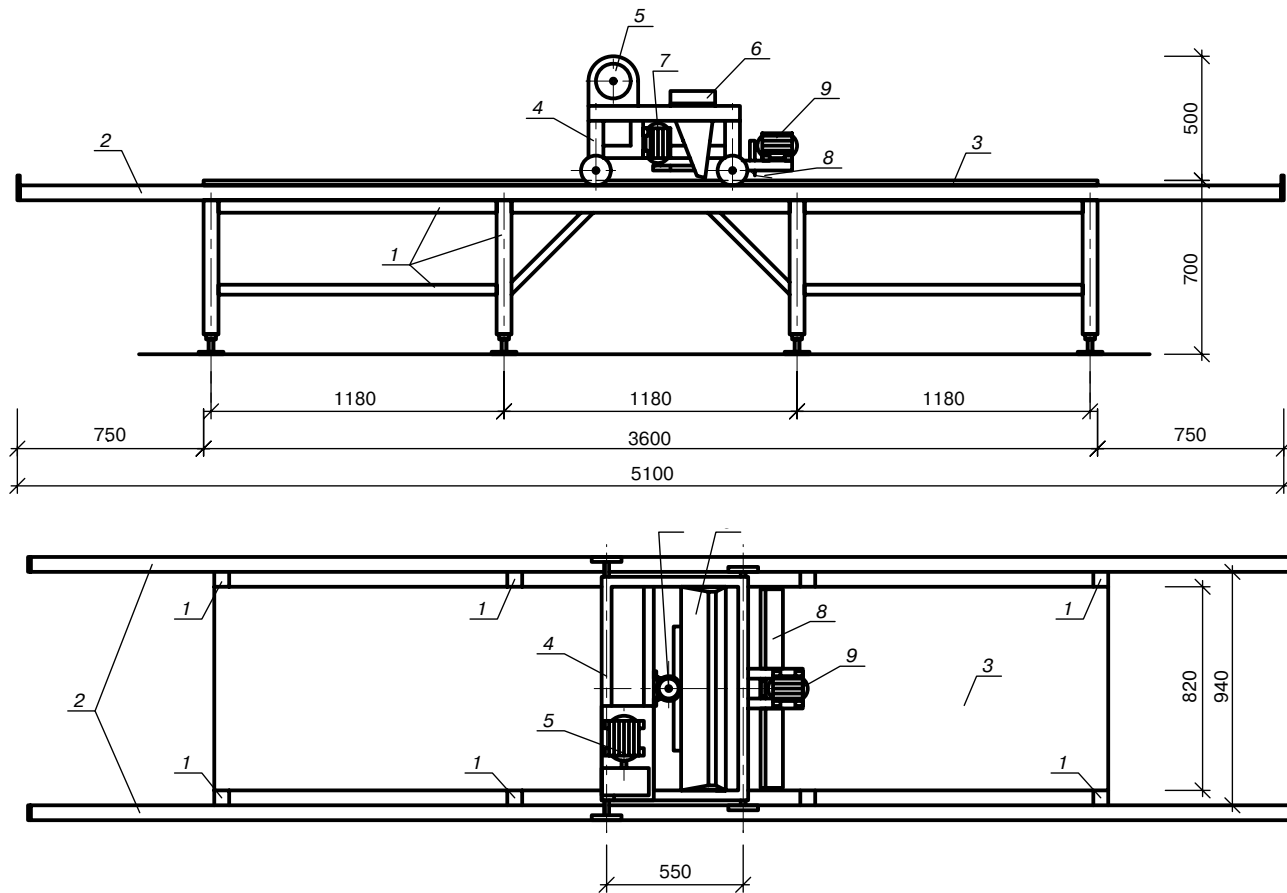


Рис. 3. Формовочная установка: 1 – несущая рама формовочной установки; 2 – направляющие каретки; 3 – рабочий поддон; 4 – передвижная каретка с установленным оборудованием; 5 – привод передвижения каретки с регулировкой скорости перемещения; 6 – съемный бункер для смеси; 7 – вибропривод бункера; 8 – заглаживающее устройство; 9 – вибропривод заглаживающего устройства



Рис. 4. Пример контрастного чередования слоев

щитный полиэтиленовый слой, закрепляя его к краям ковра посредством термофиксации. На полиэтилен приклеивают элементы из двустороннего скотча для крепления ковра к форме. При необходимости обрабатывают прилегающие к бетону части ковра составом, повышающим адгезию. Следующий ковер формуют с временным сдвигом, соответствующим технологическому циклу формовочной установки. Готовые ковры комплектуют индивидуально для каждой марки панели и укладывают на стеллажи 8.

Центральное место в предлагаемой технологии занимает опытная формовочная установка (рис. 2) для механизированного изготовления декоративных ковров, разработанная в ЦНИИЭП жилища в 2010 г. и модернизированная в дальнейшем. Установка (рис. 3) состоит из неподвижного основания 1 со съемным рабочим поддоном 3 и подвижной части – каретки 4, на которой установлен бункер 6 и заглаживающее устройство 8. Длина рабочего поддона составляет 3,6 м. Каретка передвигается по специальным направляющим 2, установленным независимо от рабочей поверхности поддона. Скорость передвижения каретки можно изменять в диапазоне от 0,01 до 0,17 м/с. Бункер и заглаживающее устройство снабжены регулируемыми виброприводами 7 и 9 для упрощения выгрузки и разравнивания смеси. Кроме того, бункер, так же как и поддон, выполнен съемным, чтобы его можно было заменять без промежуточной очистки при укладке слоев различных цветовых оттенков или с разной крупностью зерен наполнителя. Дополнительно каретка имеет специальное механическое следящее устройство, позволяющее сохранять по-

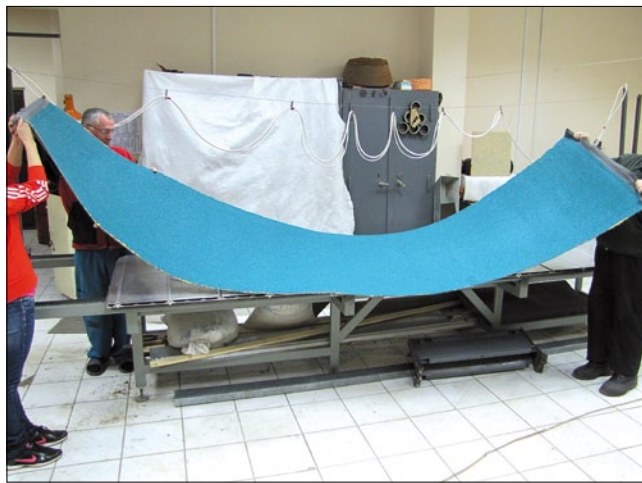
стоянную величину зазора между бункером и рабочим поддоном, так как в процессе изготовления ковров могут использоваться разные поддоны.

Принцип работы формовочной установки заключается в следующем. Каретку перемещают в исходное положение. Закрывают затвор бункера и загружают его смесью. На несущую раму установки помещают рабочий поддон с прикрепленной к нему основой из геотекстиля или уже отформованного и затвердевшего уплотняющего слоя. В зависимости от подвижности и вида укладываемой смеси (для уплотняющего или декоративного слоя) устанавливают рабочие параметры установки: величину зазора между бункером и поддоном, усилие прижима заглаживающего устройства, скорость перемещения каретки и амплитуду вибрации для бункера и заглаживающего устройства. После этого бункер заполняют смесью с таким расчетом, чтобы ее хватило с небольшим запасом на укладку слоя по всей длине ковра. Открывают затвор бункера, включают вибропривод заглаживающего устройства, потом вибропривод бункера и затем привод перемещения каретки. Смесью из бункера под действием силы тяжести при помощи вибрации вытекает через открытый затвор в пространство под бункером, где самим бункером производится ее предварительное распределение и калибровка толщины слоя. Далее смесь попадает под заглаживающее устройство, которое ее окончательно разравнивает. Направление вибрационных колебаний бункера горизонтальное, параллельно ходу движения каретки с небольшой вертикальной составляющей. Заглаживающее устройство также имеет горизонтально направленные колебания, но перпендикулярные ходу движения каретки. Перемещение каретки происходит до конца поддона по направляющим, снабженным ограничителями и концевыми выключателями. По достижении бункером края поддона затвор закрывают, отключают вибропривод бункера и выполняют обработку заглаживающим устройством концевой части ковра. Укладка смеси производится только в одном направлении, после чего бункер и заглаживающее устройство переводятся в транспортное положение и каретку перемещают в исходную позицию.

Основным критерием оценки качества декоративного ковра является отсутствие дефектов, таких как непроформовка, нарушение сплошности, истончение слоя, разрушения коврового покрытия и т. п. Разное функциональное назначение слоев предъявляет различные требования к качеству каждого из них. Для уплотняющего слоя основным критерием качества является достаточная плотность и отсутствие отверстий, через которые цементное молоко могло бы проникать на лице-



Рис. 5. Варианты отформованных декоративных ковров



вую поверхность декоративного ковра. Для декоративного слоя таким критерием плотная компоновка зерен без пропусков и визуального проявления уплотняющего слоя. С целью упрощения выявления дефектов ковров использовали черный материал основы, уплотняющий слой выполняли светлым, а декоративный слой — темным, то есть таким образом, чтобы каждый вновь укладываемый слой контрастировал с предыдущим (рис. 4). В случае изготовления ковров для серийно выпускаемых изделий цвет (или тон) уплотняющего слоя подбирается под цвет материала декоративного слоя с таким расчетом, чтобы замаскировать возможные дефекты этого слоя. То есть если отсутствие одного или нескольких зерен декоративного слоя при применении контрастных материалов заметно, то при использовании одноцветных слоев практически визуально неразличимо. На рис. 5 представлены варианты декоративных ковров, изготовленных на формовочной установке. Наибольшее количество дефектов наблюдается по краям ковров, что связано с особенностями приведенного способа формирования слоев. При этом уменьшения краевых дефектов трудно добиться без увеличения расхода материалов. Для выпуска ковров с заданными геометрическими размерами необходимо учитывать наличие краевых дефектов и дополнительно увеличивать допуски при изготовлении ковров на предполагаемые размеры этих дефектов, которые затем попадают под обрезку. Обрезаемая часть не превышает 5–6% от всей площади ковра. Качество ковров (отсутствие дефектов) на всей поверхности определяется совместным влиянием таких технологических факторов, как подвижность смеси, размер зерен заполнителя, параметры вибрации, величина зазора между затвором бункера и поверхностью поддона, скорость укладки смеси. Подбор количественных значений этих параметров индивидуален для каждой

разновидности смеси (слоя), но позволяет добиться стабильных качественных показателей. Незначительные мелкие дефекты возможно исправлять вручную.

Другим важным показателем является расход смеси и соответственно стоимость покрытия. Экспериментально установлено, что расход смеси при механизированной укладке выше, чем при ручной, приблизительно на 30–60%. Это связано в первую очередь с тем, что для бездефектной укладки необходим избыток смеси. Кроме того, из-за варьирования величины зазора между затвором бункера и поддоном при перемещении бункера толщина слоя в разных точках поддона меняется, приводя к перерасходу смеси. Следящее устройство только частично позволяет компенсировать повышенный расход смеси. Наиболее эффективным способом снижения перерасхода смеси является правильный подбор технологических параметров формирования слоев. Однако и он не может полностью устранить проблему, что требует поиска иных путей снижения стоимости декоративного покрытия.

На установке отработан целый ряд технологических параметров, что дает возможность изготавливать опытно-промышленные партии декоративного покрытия и начать работу по созданию промышленных образцов оборудования для данной технологии. В целом представленная технология механизированного изготовления декоративных ковров для заводской отделки крупнопанельных зданий позволяет упростить укладку фактурного слоя на формовочных постах и повысить качество продукции, выпускаемой предприятиями полносборного домостроения.

**Ключевые слова:** производство стеновых панелей, декоративные ковры, формовочная установка, организация производства



**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**

- федеральные нормативные документы (СНиП, ГСН, ГЭСН, ФЕР, ГОСТ, ГОСТ Р, СП, СН, РДС, НПБ, СанПиН, ГН) — официальные издания
- методические документы и другие издания по строительству (рекомендации, инструкции, указания)
- типовую проектную документацию (ТПД) жилых и общественных зданий, предприятий, зданий и сооружений промышленности, сельского хозяйства, электроэнергетики, транспорта, связи, складского хозяйства и санитарной техники

- справочно-информационные издания о нормативной, методической и типовой проектной документации (Информационный бюллетень, Перечни НМД и ТПД и др.)
- Общероссийский строительный каталог (тематические каталоги, перечни, указатели)
- проекты коттеджей, садовых домов, бань, хозяйственных построек, теплиц

**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





**PATRIOT**  
ENGINEERING

ЗАО «ПАТРИОТ-Инжиниринг»  
Россия, 107078, Москва,  
Садовая-Спасская, 28  
+7 495 721 16 06  
[www.zaopatriot.ru/7](http://www.zaopatriot.ru/7)  
[patriot-engineering@rambler.ru](mailto:patriot-engineering@rambler.ru)



*Генеральный директор –  
Станислав Евгеньевич Шмелёв*

### **Основные направления деятельности ЗАО «ПАТРИОТ-Инжиниринг»:**

- ◆ Осуществление функций управляющей компании по отношению к крупнейшим домостроительным комбинатам, таким как ДСК-7 (Москва), ДСК-3 (Санкт-Петербург), ККПД (Ростов-на-Дону) и др.
- ◆ Разработка и внедрение комплексных решений по созданию современных производственных мощностей «под ключ», как путем реконструкции существующих предприятий, так и строительства новых производственных комплексов.

### **ЗАО «ПАТРИОТ-Инжиниринг» оказывает инженеринговые и консалтинговые услуги:**

- комплексные решения по разработке и внедрению инновационных технологий производства ЖБИ;
- формирование технической политики предприятий стройиндустрии;
- оценка эффективности существующих ДСК;
- подготовка и реализация программ комплексной модернизации предприятий;
- повышение эффективности производственных мощностей;
- подбор оборудования;
- строительство производственных комплексов с нуля и реконструкция существующих предприятий;
- расчет экономической эффективности и сроков окупаемости предприятий

*Главное преимущество компании – большой опыт строительства, реконструкции и модернизации производственных комплексов в различных регионах России, в том числе в Москве, Ростове-на-Дону, Уфе и других городах. Профессиональная команда специалистов; партнерские соглашения с лучшими европейскими производителями оборудования, такими как EBAWE, Wiggert, ECHO, Progress и др.; практические наработки по применению и техническому обслуживанию импортного оборудования на российском рынке; сотрудничество с крупнейшими российскими проектными институтами (ЦНИИЭП жилища, МНИИТЭП) и ведущими европейскими проектировщиками (BRT – Hadi Teherani, RBTA – Ricardo Bofill) позволяют с успехом решать задачи любой сложности.*



# Композитное будущее КПД

Более десяти лет назад первые строители-инноваторы обратились к новому материалу, в несколько раз превосходящему по физико-механическим характеристикам металл. Предлагаемые производителями **композитные гибкие связи** для трехслойных железобетонных или кирпичных ограждающих конструкций стали новым словом в домостроении.

Вопрос повышения теплозащитных функций ограждающих конструкций зданий, их долговечности и надежности является одним из самых актуальных в современном строительстве и непосредственно связан с проблемой энергосбережения.

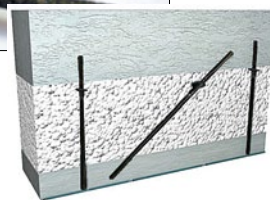
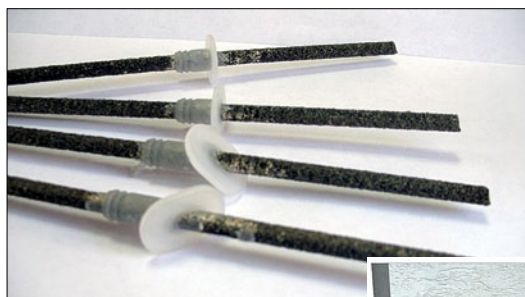
Сначала стеклопластик, затем разработанный ООО «Гален» (г. Чебоксары, Республика Чувашия) базальтопластик позволил решить несколько проблем: композитные гибкие связи, выполняющие соединение несущей стены с теплоизоляцией и облицовочным слоем, принесли серьезные улучшения. Замена в конструкциях железобетонных шпорок и гибких связей из металла на базальтопластики позволила повысить качество и прочность строящихся объектов, устранить проблему мостиков холода, увеличив теплоэффективность стен зданий до 30%, и одновременно снизить себестоимость строительства.

Согласно п. 6.31 СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции» гибкая связь должна быть изготовлена из материалов с антикоррозионным покрытием либо из композитного (полимерного) материала. Металлические и композитные связи имеют различные технические характеристики, и эти различия говорят в пользу композитных связей.

Среди ключевых преимуществ гибких связей из базальтопластика – **низкая теплопроводность** (у базальтопластика  $0,46 \text{ Вт/м}^2$ , а у металла  $56 \text{ Вт/м}^2$ ). Следующее важное качество – **высокая коррозионная и химическая стойкость**. Базальтопластик не ржавеет, устойчив к агрессивному влиянию щелочной среды раствора (бетона). **Низкая плотность** материала позволяет снизить нагрузку на фундамент здания. Гибкие связи из базальтопластика в 3,7 раза легче металлических. **Прочность и долговечность** материала, испытанная в НИИЖБ (Москва) и Университете Шеффилда (Великобритания), позволяет сохранять свойства в щелочной и тепловлажностной среде. Базальтопластик в три раза прочнее металла. **Экономическая целесообразность** очевидна: применение гибких связей из базальтопластика в 3–5 раз доступнее, чем из традиционных материалов. Установлено, что предел огнестойкости панели с гибкими связями из базальтопластика составляет не менее 151 мин.

Применяемые поначалу с осторожностью композитные гибкие связи постепенно получили распространение по всей России. К новинке обратились и технологи заводов крупнопанельного домостроения. С начала 2000-х гг. базальтопластиковые гибкие связи ООО «Гален» закладывались в проекты Новочебоксарского ДСК (Республика Чувашия), затем стали поставляться в страны СНГ: Казахстан, Белоруссию, Киргизию. Продукт успешно прошел испытания в Великобритании, получил сертификацию BBA (Britishboardofagreement) и стал применяться при строительстве британских пассивных домов. В настоящее время в Великобритании построены уже тысячи энергоэффективных домов с российским продуктом, который получает все большее распространение в Западной Европе.

Десятилетний российский опыт применения композитов доказал очевидные преимущества разработки, удовлетворяя требования энергоэффективности, надежности и экономической целесообразности.



В настоящее время Союз производителей композитов совместно с ООО «Гален» завершает разработку ГОСТа на применение композитных гибких связей в трехслойных бетонных и железобетонных панелях с эффективными утеплителями для наружных стен. Этот шаг откроет широкие возможности для крупнопанельного домостроения России. Отсутствие единого стандарта сдерживает развитие этого сегмента строительства, несмотря на наличие существенного опыта промышленного применения продукта.

При подобной осторожности любопытным фактом стала открытость для этих технологий белорусского КПД. С 1.01.2012 г. в Белоруссии вступили в силу новые требования к энергоэффективности стен. Крупнейшая белорусская строительная организация ОАО «МАПИД», лидер рынка КПД в своей стране, встала перед необходимостью удовлетворить требования с минимальными затратами. Решение предложили российские партнеры. Оцинкованные гибкие связи, используемые в строительстве, были заменены на базальтопластиковые связи «Гален» с сопоставимой стоимостью. Таким образом, без дорогостоящей модернизации с заменой конструкции стен был получен результат, успешно прошедший проверку на требования соответствия.

Кроме того, использование полностью готовых к установке композитных гибких связей избавило строителей от дополнительной трудоемкой работы, связанной с подготовкой металла (нарезка, сгиб и пр.)

ОАО «МАПИД» (Минск), ООО «Гален» и ГП «Институт НИПТИС им. Атаева С.С.» (Минск) разработали методологию использования связей, расчета несущей способности в крупнопанельном домостроении. Данная методология учитывает все требования проектирования и строительства и полностью готова к использованию.

Композиты для строительной отрасли получили признание на всех уровнях. Миллионы квадратных метров построенного отечественного жилья, популярность за рубежом, десятилетняя история применения открывают новые перспективы развития продукта. Эксперты уверены, что введение ГОСТа и многолетнее опытное подтверждение целесообразности применения в КПД позволит базальтопластиковым гибким связям выйти на новые масштабы и простимулирует вытеснение устаревших материалов. Причем речь идет не только о гибких связях, внедрение которых, по мнению специалистов, является первым уровнем применения композитов, но и о других материалах, например арматуре, а также элементах конструкции здания (лестницах и т. п.).

Сопоставляя объемы потребления композитов в разных странах, можно прогнозировать увеличение доли таких материалов в строительстве. В настоящее время США потребляют 35% мирового производства композитов; Европа – 22%; Азия – 43%, а российский рынок в составе стран BRIC занимает менее 1%. Однако в последние годы в России неуклонно растет интерес к применению композитов в разных отраслях промышленности. Прошедшая в марте в Париже крупнейшая композитная выставка JEC 2012 стала самой «русскоговорящей» за последние годы.

Строительная отрасль, среди первых начавшая массовое внедрение композитных инноваций, по-прежнему является одной из самых восприимчивых и перспективных. А обоснованная целесообразность применения таких материалов и поддержка инновационных инициатив правительством вселяет уверенность в динамичном росте сфер применения строительных композитов.

**Гален**<sup>®</sup>  
современные композиты

ООО «Гален»  
Россия, 428008  
г. Чебоксары, Комбинатская, д. 4  
Тел.: +7(8352)66-23-22  
E-mail: info@galen.su, market@galen.su  
Web: www.galen.su

С.В. ФЕДОСОВ, д-р техн. наук, академик РААСН, Ивановский государственный архитектурно-строительный университет (ИГАСУ); В.И. БОБЫЛЕВ, ООО «ДСК Инвест+»; А.М. ИБРАГИМОВ, д-р техн. наук, ИГАСУ; В.К. КОЗЛОВА, д-р техн. наук, Алтайский государственный технический университет; А.М. СОКОЛОВ, канд. техн. наук, Ивановский государственный энергетический университет; А.И. СОКОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук, ИГАСУ

## Математическое моделирование набора прочности бетоном при электротепловой обработке

Математическая модель изменения во времени предела прочности бетона при сжатии при гидратации цемента, предложенная в [1], была получена из условия, что твердение бетона происходит при постоянном значении его температуры  $T = \text{const}$ . На практике при электротепловой обработке железобетонных изделий температура бетона, при которой происходит гидратация цемента, изменяется во времени в широких пределах. В этом случае уравнение скорости химической реакции гидратации цемента (2), приведенное в [1], примет вид:

$$\frac{dN}{dt} = -A \cdot N \cdot \exp\left[-\frac{E}{k \cdot T(t)}\right], \quad (1)$$

где  $N$  – количество вещества,  $\text{г/м}^3$ , способного вступить в реакцию гидратации (количество реагента) в произвольный момент времени  $t$  (полагаем, что порядок реакции равен единице);  $A$  и  $E$  – параметры уравнения Аррениуса ( $A$  – постоянный коэффициент, число химических взаимодействий в единицу времени),  $\text{с}^{-1}$ ;  $E$  – энергия активации химической реакции, Дж;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ , Дж/К, – постоянная Больцмана;  $T(t)$  – закон изменения температуры во времени.

Решение этого уравнения в общем случае имеет вид:

$$N = N^0 \cdot e^{-A \int_0^t \exp\left[-\frac{E}{k \cdot T(t)}\right] dt}. \quad (2)$$

Для получения окончательного решения необходимо знать  $T(t)$ . При электротепловой обработке бетона электродным методом наблюдается высокая однородность температурного поля в материале [2], например при средней температуре  $80^\circ\text{C}$  максимальное отклонение не превышает  $2\text{--}3^\circ\text{C}$  и возникают практически одинаковые

условия твердения бетона по всему объему изделия. В этом случае могут применяться различные законы изменения температуры  $T(t)$  [3].

На рис. 1 показан обобщенный график тепловой обработки, который отражает практически все ее возможные варианты. Он содержит стадию разогрева бетона ( $0\text{--}t_1$ ), от начальной температуры  $T_n$  до температуры изотермической стадии  $T_{\text{изот}}$  продолжительностью  $t_1 = \Delta t_{\text{нагр}}$ . В этом случае наиболее часто обеспечивается линейный закон изменения температуры во времени:

$$T_1(t) = v_n \cdot t + T_n, \quad (3)$$

где  $v_n$  – скорость разогрева бетона.

Затем следует изотермическая стадия ( $t_1\text{--}t_2$ ) продолжительностью  $\Delta t_{\text{изот}} = t_2 - t_1$  при:

$$T_2(t) = T_{\text{изот}} = \text{const}. \quad (4)$$

Далее имеет место стадия охлаждения ( $t_2\text{--}t_3$ ) с малой скоростью  $v_{01} \leq 1\text{--}3^\circ\text{C/ч}$ . При этом можно полагать линейный закон изменения температуры:

$$T_3(t) = T_{\text{изот}} - v_{01} \cdot (t - t_2). \quad (5)$$

Затем охлаждение происходит до конечной температуры  $T_k$  ( $t_3\text{--}t_4$ ) с большей скоростью, но не превышающей предельно допустимые значения  $v_{02} \leq 5\text{--}15^\circ\text{C/ч}$  в зависимости от конструкции изделия и его модуля поверхности [4], например после распалубки, при:

$$T_4(t) = T_{\text{изот}} - v_{01} \cdot (t_3 - t_2) - v_{02} \cdot (t - t_3). \quad (6)$$

После завершения охлаждения бетон (изделие) выдерживается при постоянной температуре:

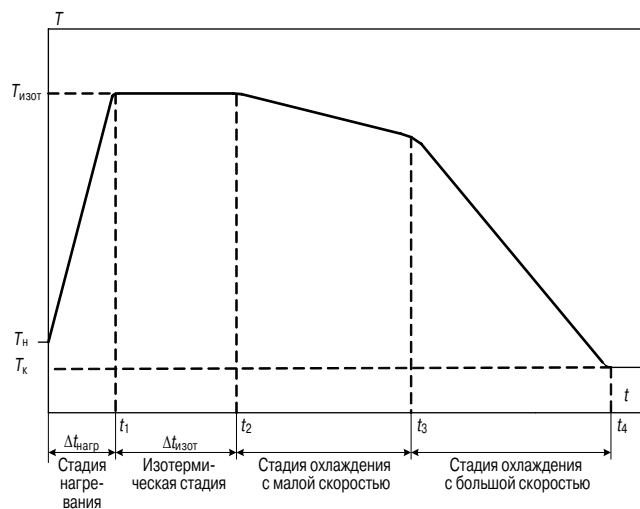


Рис. 1. График (режим) электротепловой обработки

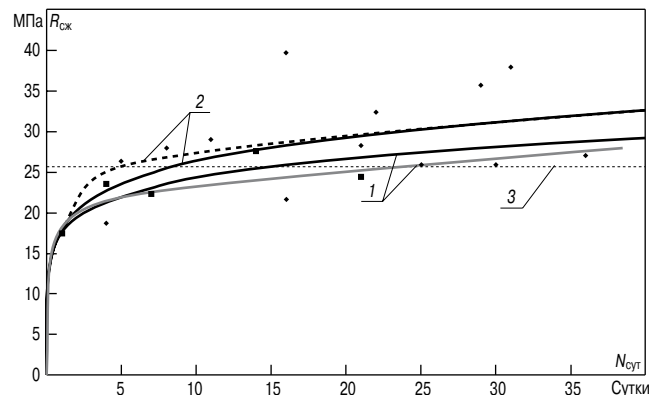


Рис. 2. Зависимости предела прочности бетона при сжатии от частоты тока и времени созревания: 1 – частота тока 50 Гц (■); 2 – частота тока 12–20 кГц (◆); 3 – нормированная прочность бетона; — — — — расчет с использованием формулы (12); - - - - - расчет с использованием формулы (13)



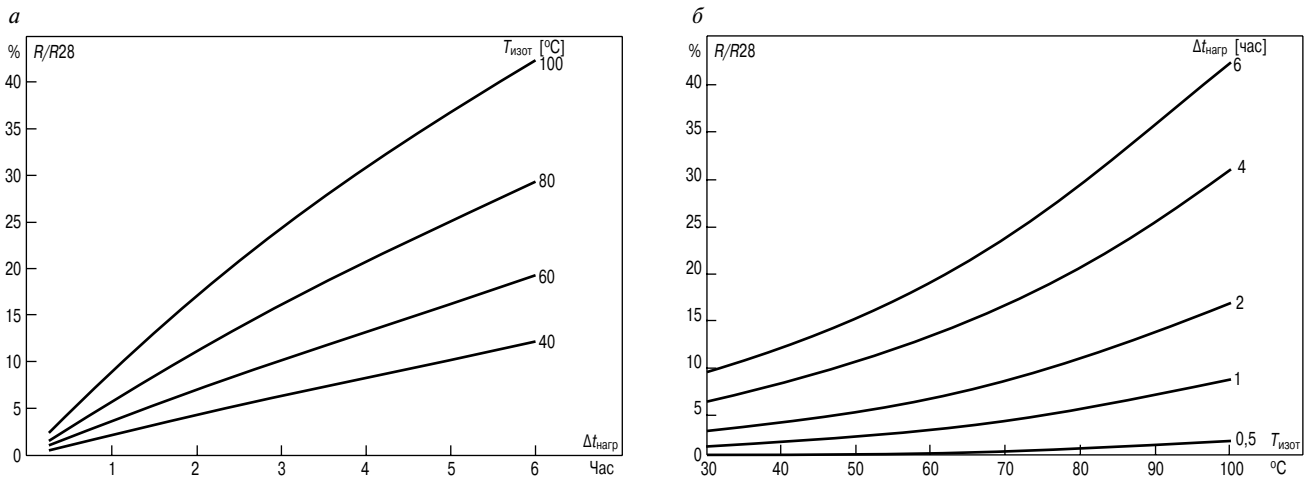


Рис. 3. Расчетные зависимости роста предела прочности бетона при сжатии в течение стадии нагревания от ее длительности (а) и температуры (б) изотермической стадии

$$T_3(t) = T_k = \text{const.} \quad (7)$$

Таким образом, зависимость  $T(t)$  в формуле (2) описывается функцией, имеющей точки разрыва. Поэтому интеграл в этой формуле с учетом (3)–(7) может быть представлен выражением:

$$\begin{aligned} I &= \int_0^t \exp\left[-\frac{E}{k \cdot T(t)}\right] \cdot dt = \\ &= \int_0^{t_1} \exp\left[-\frac{E}{k \cdot (v_H \cdot t + T_H)}\right] \cdot dt + \int_{t_1}^{t_2} \exp\left[-\frac{E}{k \cdot T_{изот}}\right] \cdot dt + \\ &\quad + \int_{t_2}^{t_3} \exp\left[-\frac{E}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t - t_2)\}}\right] \cdot dt + \\ &+ \int_{t_3}^{t_4} \exp\left[-\frac{E}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t_3 - t_2) - v_{O2} \cdot (t - t_3)\}}\right] \cdot dt + \int_{t_4}^t \exp\left[-\frac{E}{k \cdot T_k}\right] \cdot dt = (8) \\ &= \int_0^{t_1} \exp\left[-\frac{E}{k \cdot (v_H \cdot t + T_H)}\right] \cdot dt + \exp\left[-\frac{E}{k \cdot T_{изот}}\right] \cdot (t_2 - t_1) + \\ &\quad + \int_{t_2}^{t_3} \exp\left[-\frac{E}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t - t_2)\}}\right] \cdot dt + \\ &+ \int_{t_3}^{t_4} \exp\left[-\frac{E}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t_3 - t_2) - v_{O2} \cdot (t - t_3)\}}\right] \cdot dt + \exp\left[-\frac{E}{k \cdot T_k}\right] \cdot (t - t_4). \end{aligned}$$

Для определенных интегралов в полученном соотношении (8) может быть найдено аналитическое выражение, однако в практике инженерных расчетов удобнее пользоваться численным интегрированием средствами *Mathcad*.

По аналогии с преобразованиями, выполненными для случая  $T = \text{const}$  [1], можно составить уравнение вида (1), найти их решения вида (2) и (8) для каждой минералогической составляющей цемента в случае, когда закон изменения температуры бетона  $T(t)$  описывается уравнениями (3)–(7):

$$\begin{aligned} N_{C3S} &= N_{C3S}^0 \cdot e^{-A_{C3S} \cdot I_{C3S}} = g_1 \cdot N^0 \cdot e^{-A_{C3S} \cdot I_{C3S}}; \\ N_{C2S} &= N_{C2S}^0 \cdot e^{-A_{C2S} \cdot I_{C2S}} = g_2 \cdot N^0 \cdot e^{-A_{C2S} \cdot I_{C2S}}; \\ N_{CAF} &= N_{CAF}^0 \cdot e^{-A_{CAF} \cdot I_{CAF}} = g_3 \cdot N^0 \cdot e^{-A_{CAF} \cdot I_{CAF}}; \\ N_{CAF}^R &= g_3 \cdot N^0 \cdot (1 - e^{-A_{CAF} \cdot I_{CAF}}) \cdot e^{-A_{CAF}^R \cdot I_{CAF}^R}, \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} I_{C3S} &= \int_0^{t_1} \exp\left[-\frac{E_{C3S}}{k \cdot (v_H \cdot t + T_H)}\right] \cdot dt + \\ &+ \exp\left[-\frac{E_{C3S}}{k \cdot T_{изот}}\right] \cdot (t_2 - t_1) + \int_{t_2}^{t_3} \exp\left[-\frac{E_{C3S}}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t - t_2)\}}\right] \cdot dt + \\ &+ \int_{t_3}^{t_4} \exp\left[-\frac{E_{C3S}}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t_3 - t_2) - v_{O2} \cdot (t - t_3)\}}\right] \cdot dt + \exp\left[-\frac{E_{C3S}}{k \cdot T_k}\right] \cdot (t - t_4); \end{aligned}$$

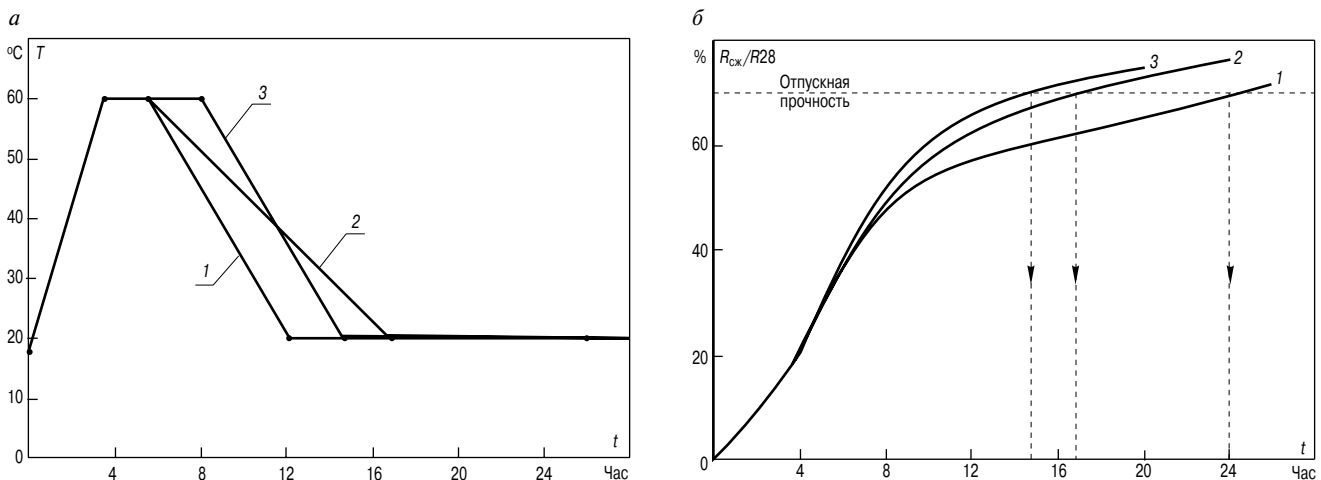


Рис. 4. Характеристики электротепловой обработки бетона (а) и расчетные зависимости нарастания предела прочности при сжатии (б): 1 – зависимости для условий лабораторных экспериментов по [5]; 2 – зависимости при снижении скорости охлаждения; 3 – зависимости при увеличении длительности изотермической стадии

$$I_{C2S} = \int_0^{t_1} \exp\left[-\frac{E_{C2S}}{k \cdot (v_H \cdot t + T_H)}\right] \cdot dt + \exp\left[-\frac{E_{C2S}}{k \cdot T_{изот}}\right] \cdot (t_2 - t_1) + \int_{t_2}^{t_3} \exp\left[-\frac{E_{C2S}}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t - t_2)\}}\right] \cdot dt + \int_{t_3}^{t_4} \exp\left[-\frac{E_{C2S}}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t_3 - t_2) - v_{O2} \cdot (t - t_3)\}}\right] \cdot dt + \exp\left[-\frac{E_{C2S}}{k \cdot T_k}\right] \cdot (t - t_4); \quad (10)$$

$$I_{CAF} = \int_0^{t_1} \exp\left[-\frac{E_{CAF}}{k \cdot (v_H \cdot t + T_H)}\right] \cdot dt + \exp\left[-\frac{E_{CAF}}{k \cdot T_{изот}}\right] \cdot (t_2 - t_1) + \int_{t_2}^{t_3} \exp\left[-\frac{E_{CAF}}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t - t_2)\}}\right] \cdot dt + \int_{t_3}^{t_4} \exp\left[-\frac{E_{CAF}}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t_3 - t_2) - v_{O2} \cdot (t - t_3)\}}\right] \cdot dt + \exp\left[-\frac{E_{CAF}}{k \cdot T_k}\right] \cdot (t - t_4);$$

$$I_{CAF}^R = \int_0^{t_1} \exp\left[-\frac{E_{CAF}^R}{k \cdot (v_H \cdot t + T_H)}\right] \cdot dt + \exp\left[-\frac{E_{CAF}^R}{k \cdot T_{изот}}\right] \cdot (t_2 - t_1) + \int_{t_2}^{t_3} \exp\left[-\frac{E_{CAF}^R}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t - t_2)\}}\right] \cdot dt + \int_{t_3}^{t_4} \exp\left[-\frac{E_{CAF}^R}{k \cdot \{T_{изот} - v_{O1} \cdot (t_3 - t_2) - v_{O2} \cdot (t - t_3)\}}\right] \cdot dt + \exp\left[-\frac{E_{CAF}^R}{k \cdot T_k}\right] \cdot (t - t_4).$$

Таким же способом, как это было сделано в [1] в случае твердения бетона при постоянном значении температуры  $T = const$ , можно получить выражение для определения величины константы скорости гидратации в условиях, когда температура бетона в ходе электротепловой обработки изменяется по заданному закону  $T(t)$  (рис. 1) и формулам (3)–(8):

$$K = \frac{1}{t} \cdot \ln \left[ 1 - g_1 \cdot (1 - e^{-A_{C2S} \cdot I_{C2S}}) - g_2 \cdot (1 - e^{-A_{C2S} \cdot I_{C2S}}) - g_3 \cdot (1 - e^{-A_{CAF} \cdot I_{CAF}}) \cdot \left\{ (1 - b) \cdot e^{-A_{CAF}^R \cdot I_{CAF}^R} + b \right\} \right]^{-1}. \quad (11)$$

Полученная формула позволяет определять относительное и абсолютное значение предела прочности бетона при сжатии  $R$  с использованием соотношения [1] при изменении температуры по графику рис. 1 для  $t \geq t_4$ , что соответствует подавляющему большинству практических случаев:

$$R^* = \frac{R}{R^m} = G = 1 - \exp(-K \cdot t), \quad (12)$$

где  $R_m$  – максимальная прочность, достигаемая при завершении гидратации цемента ( $G=1$ ); в качестве расчетного времени достижения такого состояния принято значение 5 лет [1]. В действительности гидратация и увеличение прочности бетона наблюдаются на протяжении значительно более длительного времени и практически не останавливаются никогда. Однако, как отмечено в [1], по мнению авторитетных исследователей закономерностей механического разрушения и прочности бетона Б.Г. Скрамтаева, О.Я. Берга, А.Е. Шейкина и др., дальнейшее увеличение предела прочности при сжатии не превышает нескольких процентов и практического значения для инженерных расчетов не имеет. Это позволяет прогнозировать величину механической прочности бетона при его созревании при заданном режиме электротепловой обработки, а также решать обратную задачу – выбирать оптимальный график такой обработки с целью достижения заданной прочности в требуемые сроки.

На рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследований, приведенные в [2], и расчетные зависимости нарастания прочности при сжатии бетона В20 (проектный класс бетона согласно рецептуре) при его созревании после электротепловой обработки, режим тепловой обработки по [5]. Как было показано в [2], наблюдается активация твердения цементного камня под воздействием токов и электромагнитных полей повышенной частоты 12–20 кГц, которая проявляется в заметном ускорении набора прочности бетоном (кривая 2, рис. 2) по сравнению с обработкой током промышленной частоты 50 Гц (кривая 1, рис. 2). В возрасте 28 сут достигается такое значение прочности при сжатии, которое соответствует бетону более высокого класса. Анализ результатов (рис. 2) дает основание сделать вывод, что при электродном методе электротепловой обработки не происходит изменения состава и структуры продуктов гидратации, имеющего место при тепловлажностной обработке и приводящего к снижению прочности пропаренного бетона по сравнению с бетоном того же состава, твердевшего в нормальных условиях [6, 7].

Расчетная зависимость, полученная с помощью предложенной математической модели и формулы (12), хорошо согласуется с опытной кривой только для случая обработки током промышленной частоты 50 Гц. Расхождение с результатами эксперимента при повышенной частоте следует объяснить различием в величине константы скорости реакции гидратации. Это расхождение целесообразно скорректировать путем введения поправочного эмпирического коэффициента, в результате чего формула (12) приобретает вид:

$$R^* = \frac{R}{R^m} = G = 1 - \exp(-a_f \cdot K \cdot t), \quad (13)$$

где  $a_f = 1,25$  – поправочный коэффициент, означающий, что при повышенной частоте константа скорости реакции на 25% больше, чем при частоте 50 Гц.

Экспериментальное подтверждение предложенной теоретической модели дает право использовать ее для выбора параметров электротепловой обработки. В качестве примера на рис. 3 приведены расчетные зависимости показателей наиболее важной стадии электротепловой обработки – стадии нагревания. Эти результаты свидетельствуют о возможности значительного увеличения прочности бетона уже в ее пределах и представляют интерес с точки зрения применения электроразогрева в сочетании с термосным выдерживанием.

Такой технологический режим позволяет свести к минимуму затраты энергии на электротепловую обработку и ее стоимость, а также повысить эффективность использования технологического оборудования.

Аналогичным образом были получены зависимости нарастания прочности на следующих стадиях электротепловой обработки при различных параметрах графика тепловой обработки (рис. 4).

Эти результаты демонстрируют возможность заметного сокращения времени достижения отпускной (распалубочной) прочности бетона, следовательно, повышения производительности. В случае, когда параметры графика тепловой обработки соответствуют условиям лабораторных экспериментов, представленным в [5], расчетная зависимость (кривая 1, рис. 4) полностью согласуется с результатами этих экспериментов, показывая достижение бетоном требуемой прочности в суточном возрасте (24 ч). Посредством уменьшения скорости охлаждения (кривая 2, рис. 4) или увеличения длительности изотермической стадии (кривая 3, рис. 4) можно заметно ускорить рост прочности бетона и уменьшить в 1,45–1,7 раза время достижения отпускной (распалубочной) прочности к моменту завершения стадии охлаждения.

**Ключевые слова:** математическая модель, гидратация цемента, прочность бетона, электротепловая обработка.

**Список литературы**

1. Федосов С.В., Бобылев В.И., Ибрагимов А.М., Козлова В.К., Соколов А.М. Моделирование набора прочности бетоном при гидратации цемента // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 38–41.
2. Федосов С.В., Бобылев В.И., Митькин Ю.А., Соколов А.М., Закинчак Г.Н. Электротепловая обработка бетона токами различной частоты // Строительные материалы. 2010. № 6. С. 4–7.
3. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звездова. М.: НИИЖБ, 2005.
4. Железобетонные и каменные конструкции / Под ред. В.М. Бондаренко. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
5. Федосов С.В., Бобылев В.И., Митькин Ю.А., Соколов А.М. Исследование суточной прочности бетона при электротепловой обработке бетона токами различной частоты // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 52–54.
6. Козлова В.К., Ильевский Ю.А., Карпова Ю.В. Продукты гидратации кальцево-силикатных фаз цемента и смешанных вяжущих веществ. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. 183 с.
7. Федосов С.В., Козлова В.К., Лихошерстов А.А., Соколов А.М. Влияние комплексных добавок на коррозионную стойкость цемента: Сб. тр. Междунар. науч. конф. «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании». Москва, 19–21 октября 2011. Т. 2. С. 190–193.



Москва  
Выставочный комплекс  
«Крокус-Экспо»



29 мая – 2 июня 2012 г.  
XIII Международная выставка  
«Строительная Техника  
и Технологии 2012»



Приглашаем посетить стенд  
журнала «Строительные материалы»  
Павильон 2, зал №7, стенд №7-360





**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.

**29 мая  
2 июня  
2012**

Россия  
Москва  
МВЦ «Крокус Экспо»



13-я Международная специализированная выставка  
«СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ '2012»

 **СТТ '2012**

реклама

## СПЕЦИАЛИСТЫ ЗНАЮТ!

- СТТ— №1 в мире среди ежегодных выставок строительной техники и оборудования
- Сотни мировых и отечественных производителей
- Тысячи единиц строительной техники
- Десятки тысяч профессионалов со всего мира

Организатор:



Генеральный спонсор:



Международный партнер:



При поддержке:



Генеральные информационные спонсоры:



Информационные спонсоры:



Тел.: +7 495 961 22 62 E-Mail: [ctt@mediaglobe.ru](mailto:ctt@mediaglobe.ru) Web: [www.ctt-expo.ru](http://www.ctt-expo.ru), [www.mediaglobe.ru](http://www.mediaglobe.ru)





# ВСГУТУ – ведущий научно-образовательный центр Восточной Сибири и Дальнего Востока



Ректор ВСГУТУ д-р эконом. наук, профессор Владимир Евгеньевич Сактоев

## Немного истории

**Восточно-Сибирскому государственному университету технологий и управления исполняется 50 лет.** В 1962 г.

вышло постановление Совета Министров СССР № 479 об организации в столице Республики Бурятия г. Улан-Удэ Восточно-Сибирского технологического института (ВСТИ), а затем приказ Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР от 19 июня того же года об организации Восточно-Сибирского технологического института на базе технологического и строительного факультета в Бурятском зооветеринарном институте, где с 1955 г. велась подготовка инженеров по специальности «Промышленное и гражданское строительство». Рождение Восточно-Сибирского технологического института, а затем университета неразрывно связано с именами профессоров Василия Родионовича Филиппова, ректора Бурятского зооветеринарного института, и Дамнина Шагдуровича Фролова (1925–1992 гг.) ректора ВСТИ в течение 30 лет со дня его создания.

К 1992 г. ВСТИ превратился в один из крупных технических вузов на востоке страны, в котором велось обучение на шести факультетах дневного обучения, 45 кафедрах по 22 специальностям, а на заочном факультете – по 19 специальностям. На дневных факультетах обучалось 3975 человек, на заочном – 2810. Состав студентов в эти и последующие годы формировался за счет не только уроженцев Бурятии, но и других регионов Сибири и Дальнего Востока на основе долгосрочных договоров с предприятиями, организациями и государственными органами. В 1994 г. ВСТИ обрел статус Государственного технологического университета. Эксперты секции Евразийской ассоциации университетов, проверявшие тогда деятельность ВСТИ, отметили: «Восточно-Сибирский технологический институт является динамично развивающимся вузом, который сформировался как научный, образовательный и культурный центр обширного района...».

С 1997 г. по настоящее время университет возглавляет В.Е. Сактоев, доктор экономических наук, профессор, чл.-корр. Российской инженерной академии, Сибирского отделения Академии наук высшей школы. Он активно участвует в общественно-политической жизни, является депутатом Народного хурала Республики Бурятия последних трех созывов, членом парламентского Комитета по экономической политике, Совета по кадровой политике при Президенте Республики Бурятия, Научно-технического совета при Правительстве Республики Бурятия.

В 2011 г. университет был переименован в Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. Современный ВСГУТУ – это мультиобразова-

тельный центр, который реализует более 80 основных лицензированных образовательных программ по очной и заочной формам обучения. Университет подготовил более 50 тыс. специалистов, составляющих основу производственного и экономического менеджмента предприятий, учреждений и организаций не только Сибири и Дальнего Востока, но и других регионов России.

## Структура университета

В настоящее время в состав ВСГУТУ входит четыре института и десять факультетов, организующих учебно-методическую, научно-исследовательскую, производственную и воспитательную деятельность на всех уровнях форм высшего профессионального образования и технологий обучения студентов, аспирантов и слушателей. В университете обучаются свыше 15 тыс. студентов. Университет ведет образовательную деятельность по более 160 образовательным программам высшего профессионального образования, в том числе по 47 направлениям бакалавриата, 10 направлениям магистратуры, 5 специальностям по стандартам третьего поколения (ФГОС). Основными учебно-научными подразделениями, непосредственно осуществляющими образовательную деятельность, ведущими подготовку и переподготовку кадров, повышение их квалификации, является 61 кафедра (44 выпускающих и 17 обеспечивающих). Действуют филиалы университета в г. Кяхта (РБ), Улан-Батор (Монголия), Нерюнгри (Республика Саха Якутия), а также Центр новых информационных технологий, Региональный центр педагогического аудита и Бурятский республиканский центр интернет-образования.

В настоящее время учебный процесс ведут более 120 докторов наук и профессоров, более 500 кандидатов наук, доцентов, что является ярким показателем высокого уровня квалификации научно-педагогических кадров. Остепенность профессорско-преподавательского состава около 70%. В 2010–2011 гг. было создано девять малых инновационных предприятий, внедряющих результаты интеллектуальной деятельности ученых и преподавателей университета.

Научные исследования в университете проводятся по следующим направлениям: информационные системы и системы автоматизации; вычислительная математика и математический анализ; химия и химические технологии; биотехнология пищевых продуктов нового поколения; исследования в области нанотехнологий и наноматериалов; создание новых строительных материалов и конструкций на базе местного сырья; разработка порядка и процедур осуществления мониторинга сейсмического риска на критически важных объектах; технология рационального использования кожевенного и мехового сырья; разработка и использование в промышленности плазменных технологий; повышение устойчивости энергосистем и качества электроэнергии; разработка высокопроизводительных технологических процессов упрочнения деталей машин и инструментов; охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов озера Байкал; экономические и социальные проблемы Байкальского региона и др.

Докторантура и аспирантура университета готовят научные кадры по 31 специальности. В университете работает





Административный корпус ВСГУТУ

7 специализированных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций по 14 научным специальностям. В университете сформировался ряд научных школ, получивших признание в России и за рубежом.

Университет имеет 22 учебных корпуса и развивает социальную инфраструктуру, которая включает пять студенческих общежитий; в марте 2012 г. сдано в эксплуатацию современное общежитие гостиничного типа на 350 мест с двумя обеденными залами на 300 мест; современный двухэтажный Центр эстетического воспитания со зрительным залом на 500 мест; студенческая поликлиника; санаторий-профилакторий; научно-техническая библиотека с четырьмя читальными залами; спортивный комплекс (стадион, крытый легкоатлетический манеж, два зала игровых видов спорта, залы борьбы, бокса, открытые площадки и др.); комбинат пи-

тания (столовые, буфеты во всех корпусах и общежитиях, кафе в отдельном двухэтажном здании с двумя обеденными залами на 30 мест), спортивно-оздоровительный лагерь «Ровесник» на живописном берегу озера Байкал, дома отдыха «Горячинск» (оз. Байкал), «Хонгор-Уула» и «Аршан» (минеральные источники в Восточных Саянах у подножия хребта Тункинские Гольцы).

### Строительный факультет

Одним из старейших образовательных сегментов университета является строительный факультет, который в 2012 г. также отмечает 50 лет со дня своего образования. В 1962 г. в связи с организацией Восточно-Сибирского технологического института приказом Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР № 783 от 26 ноября был образован строительный факультет.

Первым деканом факультета была доцент В.Г. Щепотько, затем факультет возглавляли: П.В. Дружинин, С.В. Ангапов, М.Ш. Агалов, В.Н. Шутуков, А.Д. Цырепилов, В.А. Тыхеев, П.К. Хардаев, Д.-Н.Ц. Цынгеев. В настоящее время факультетом руководит д-р техн. наук, профессор М.П. Калашников.

В состав факультета входит шесть кафедр, из них пять выпускающих («Промышленное и гражданское строительство», «Производство строительных материалов и изделий», «Теплогасоснабжение и вентиляция», «Управление инвестициями и недвижимостью», «Сопроотивление материалов») и одна обеспечивающая – высшей математики.

Важная роль отводится на строительном факультете научно-исследовательской и научно-производственной деятельности. Научная работа проводится по приоритетным направлениям строительного комплекса РБ и России, включая проблемы строительного материаловедения, строительных



Коллектив кафедры «Производство строительных материалов и изделий». Слева направо (сидят): С.А. Лхасаранов, аспирант; З.М. Гончиков, канд. техн. наук, доцент; А.В. Батудаева, канд. техн. наук; Ч.С. Лайдабон, д-р техн. наук, профессор; М.Е. Заяханов, д-р техн. наук, профессор; Н.В. Архинчиева, канд. хим. наук, доцент; Р.Р. Бенгле, доцент; А.Б. Минганов, аспирант. Слева направо (стоят): А.Б. Цыренов, аспирант; М.М. Зонхиев, канд. техн. наук; Е.Г. Щукина, канд. техн. наук, доцент; Е.Н. Ильгеева; Е.В. Гончикова, канд. техн. наук, доцент; Л.А. Урханова, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой ПСМИ; Д.Р. Дамдинова, д-р техн. наук, профессор; Л.В. Намсараева; Е.Д. Балханова, канд. техн. наук, доцент; Ц.Д. Дамдинов, канд. техн. наук, доцент; В.В. Цыдыпов, аспирант; С.В. Эрдынеев, канд. техн. наук, доцент



*Студенты специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» на лабораторном занятии*

технологий, строительных конструкций, архитектуры и градостроительства, энергоэффективных систем жизнеобеспечения зданий и сооружений.

К основным научным направлениям факультета в области фундаментальных и прикладных исследований, которые сложились за последние 30 лет, относятся: «Асимптотически оптимальные кубатурные формулы краевой задачи для систем уравнений в частных производных в пространствах», «Разработка современных материалов и конструкций в условиях сурового климата и сейсмике», «Комплексное использование минерального сырья и отходов промышленности Забайкалья для получения новых строительных материалов», «Повышение эффективности систем кондиционирования микроклимата в помещениях зданий различного назначения в условиях резко континентального климата Восточной Сибири», «Исследование элементов конструкций из слоистых композиционных материалов с дефектами», «Управление инвестиционной привлекательностью региона».

#### **Кафедра «Производство строительных материалов и изделий»**

Весомый вклад в подготовку инженерных и научных кадров вносит кафедра «Производство строительных материалов и изделий» (ПСМИ), созданная в 1988 г. в целях удовлетворения строительного комплекса РБ в высококвалифицированных специалистах – инженерах по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». У истоков создания кафедры ПСМИ стояли д-р техн. наук, профессор А.Д. Цыремпилов, канд. техн. наук, доцент К.М. Марактаев, канд. хим. наук, доцент Н.В. Архинчеева. Кафедрой руководили: канд. техн. наук А.В. Убеев, д-р техн. наук М.Е. Заяханов. В настоящее время кафедрой заведует д-р техн. наук Л.А. Урханова.

В составе кафедры 16 преподавателей, в том числе четыре доктора технических наук и профессора; 10 кандидатов технических наук, доцентов. Среди них почетный строитель РФ, заслуженные строители РБ, заслуженный изобретатель РБ, три выпускника Московского химико-технологического института им. Д.И. Менделеева, два выпускника Санкт-Петербургского (Ленинградского) технологического, Томского, Иркутского политехнического, Восточно-Сибирского технологического университетов, окончившие аспирантуру МГСУ, НИИЖБ, РХТУ им. Д.И. Менделеева и других университетов Москвы и Санкт-Петербурга.

Со дня основания кафедры ПСМИ подготовлено более 400 инженеров по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», свыше 70 инженеров по специальности «Технология деревообработки» и 17 магистров техники и технологии. В настоящее время



*Спортивно-оздоровительный лагерь ВСГУТУ «Ровесник» на берегу озера Байкал*

кафедра выпускает бакалавров и магистров техники и технологии по направлению 270800 – «Строительство»; инженеров по специальностям 270806 – «Производство строительных материалов»; изделий и конструкций и 250403 – «Технология деревообработки».

В рамках программы «Комплексное использование минерального сырья и отходов промышленности Забайкалья для получения новых строительных материалов» на кафедре ПСМИ проводятся исследования по направлениям: «Разработка вяжущих веществ и бетонов с использованием природного сырья и отходов промышленности Забайкалья» (доктора наук: М.Е. Заяханов, Л.А. Урханова, Ч.С. Лайдабон; кандидаты наук: Е.Д. Балханова, Е.В. Гончикова, А.Ж. Чимитов, З.М. Гончиков, С.В. Эрдынеев). По теплоизоляционным и стеновым материалам исследования ведут доктора наук: П.К. Хардаев, Д.Р. Дамдинова; кандидаты наук: Н.В. Архинчеева, Е.Г. Щукина, Ц.Д. Дамдинов, М.М. Зонхийев и доцент Р.Р. Беппле. Общий объем выполненных за 2011 г. госбюджетных и хоздоговорных НИР составляет более 5 млн р.

Сотрудниками кафедры ПСМИ за последние 10 лет опубликовано более 300 научных статей, 7 монографий, более 60 методических указаний и пособий, подготовлено более 160 докладов на международных, всесоюзных, всероссийских и региональных конференциях, получено 18 патентов и более 40 авторских свидетельств. Активное участие в научных исследованиях кафедры ежегодно принимают 15–20 студентов, работы их отмечены на российских и региональных конкурсах дипломных проектов (г. Владивосток), международных студенческих форумах в Москве, Томске, Белгороде. В соавторстве с сотрудниками кафедры студентами опубликовано 23 научные статьи, представлено на различных конференциях 44 доклада, получено пять авторских свидетельств на изобретение.

Кафедра имеет налаженные связи с научными центрами и вузами России, Беларуси, Украины, Казахстана, Монголии: Российской академией архитектуры и строительных наук, Российской инженерной академией, Московским государственным строительным университетом, Белгородским государственным технологическим университетом им. В.Г. Шухова, Монгольским университетом науки и технологии и др., а также с предприятиями, строительными и проектными организациями строительного комплекса РБ: Министерством строительства и модернизации ЖКК Бурятии, ОАО «Дарханивестстрой», ОАО «Бурятпромстройпроект», ОАО «Завод бетонных блоков», ООО «Буржелезобетон», ООО «Тимлюйский завод» и т. д.

Кафедра ПСМИ является членом Ассоциации ученых и специалистов строительного материаловедения и ассоциации строительных вузов СНГ и России. Преподаватели кафедры прошли научные стажировки в ведущих вузах России



(в Москве, Санкт-Петербурге, Белгороде, Пензе, Казани, Красноярске и др.) и повышение квалификации за рубежом (Высшая технологическая школа в г. Аахене, Германия, на строительных предприятиях США, г. Улан-Батора, Монголия).

С 1996 г. при кафедре открыта аспирантура по специальности 05.23.05 «Строительные материалы и изделия», куда ежегодно поступают лучшие выпускники строительного факультета и специалисты предприятий стройиндустрии. Под руководством д-ра техн. наук А.Д. Цыремпилова был создан диссертационный совет по защите кандидатских (1997 г.) и докторских диссертаций (1999 г.), на котором защищено более 60 диссертаций соискателей, среди которых выпускники и сотрудники строительного факультета ВСГУТУ, Национального исследовательского ИрГТУ, Северо-Восточного федерального университета ЯГУ, СибАДИ (Омск), АнгТА, БГУ (г. Братск) и специалисты стройиндустрии Бурятии, Якутии, Иркутской и Омской областей, Забайкальского и Хабаровского краев.

С целью увековечения имени Анатолия Дашиевича Цыремпилова (1952–2004), доктора технических наук, профессора, советника РААСН, заслуженного деятеля науки РФ, основателя научной школы строительного материаловедения ВСГУТУ, ученого, чьи заслуги отмечены Большой медалью РААСН, на строительном факультете была установлена мемориальная доска и открыта лаборатория строительных материалов. На строительном факультете после внедрения двухуровневой системы обучения (бакалавриат, магистратура), продолжает проводиться активная политика по привлечению к научно-исследовательской работе студентов и молодых ученых.

В настоящее время в аспирантуре учатся 44 выпускника строительного факультета (из них 17 – по очной и 27 – по заочной формам обучения), в магистратуре учатся 18 студентов-выпускников бакалавриата. Студенты и аспиранты имеют возможность проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на базе учебно-научно-производственных комплексов «Строитель» «Сантехсервис» «Стром» и ООО «Сервейингплюс», а также научно-исследовательских лабораторий: «Исследование и испытание строительных конструкций», «Разработка и испытание строительных материалов» и «Надежность и прочность изделий и конструкций». На факультете функционируют студенческое конструкторское бюро и оргтехцентр для технического обслуживания студентов.

Созданы малые инновационные предприятия (МИП): «Байкальский научный центр прочности» (директор – зав. кафедрой сопротивления материалов д-р техн. наук, профессор Л.А. Бохова) и «Центр энергоэффективности и энергосбережения» (директор – зав. кафедрой ТВТ, канд. техн. наук О.Б. Аюрова). Организация МИПов на базе факультета позволила создать не только современное производство, но и обеспечила возможность коммерциализации научных разработок ученых факультета.

### Научные достижения

В направлении развития строительной индустрии России, сотрудничества с вузами, занимающимися подготовкой специалистов для данной отрасли, университет в течение последних восьми лет проводит ставшую традиционной международную научно-практическую конференцию «Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика». В сентябре 2011 г. в университете при участии кафедры ПСМИ прошёл Всероссийский научно-технический семинар с международным участием «Новые модифицированные бетоны. Опыт производства в России и перспективы», в котором приняли участие ученые и ведущие сотрудники ВСГУТУ, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева – ОАО «НИЦ «Строительство» (зав. лабораторией НИИЖБ д-р техн. наук С.С. Каприелов и канд. техн. наук А.В. Шейнфельд), МГСУ (д-р техн. наук, академик РААСН У.Х. Магдеев), Санкт-Петербургского ГАСУ (д-р техн.

наук В.И. Морозов), Казанского ГАСУ (д-р техн. наук В.Г. Хозин) и др.

Студенты строительного факультета успешно выступают на всероссийских олимпиадах, смотрах-конкурсах дипломных проектов и работ и занимают в них призовые места. Студент А.В. Соболев занял второе место во Всероссийском конкурсе по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» в Волгограде, получил премию Президента РФ, а также мэра г. Улан-Удэ «Молодые таланты 2009 г.» в номинации «Технические науки». Студентки А.С. Чермашенцева, Е.С. Булдакова заняли первое место на Международной научно-практической конференции современной техники и технологии (Томск, 2012 г.); М.К. Супоня, Б.М. Дымбыров, Е.Т. Чагдуров – третье место в VIII Межрегиональном студенческом конкурсе вузов Урала, Сибири и Дальнего Востока по специальности ТГВ (Новосибирск, Сибстрин, 2012 г.). Студентка Н.Л. Мальцева получила диплом за участие в XIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск, 2009 г.). В конкурсе дипломных проектов по специальности «Производство строительных материалов и изделий» во Владивостоке (2009 г.). 1-е место занял дипломный проект Н.Л. Мальцевой. Там же студенты И.А. Жарникова и Ю.А. Марченко получили дипломы за актуальность и значимость темы дипломных проектов по специальности «Управление инвестициями и недвижимостью». В конкурсе инновационных проектов среди студентов вузов Республики Бурятия для размещения их в Межвузовском студенческом бизнес-инкубаторе (МСБИ) студентка С.Ю. Богданова с проектом «Производство изделий из тонколистовой стали с полимерным покрытием» вошла в число призеров (2009 г.). Студенты М.Н. Пьянников и П.А. Орлов получили дипломы 3-й степени на Международной студенческой конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых» (г. Йошкар-Ола, 2009 г.). В конкурсе 2010 г. выпускники С.А. Лхасаранов, С.Б. Галданов заняли 1-е место во 2-м туре Всероссийского смотра-конкурса дипломных проектов и работ по специальности 270106 (ПСМИК).

При организации воспитательной работы зам. декана факультета Г.Н. Дамбуев и кураторы учебных групп руководствуются концепцией и программой внеучебной воспитательной работы в ВСГУТУ. На строительном факультете девять студенческих творческих коллективов. Студенты факультета занимают призовые места в мероприятиях, проводимых в университете и РБ. Волейбольная команда строительного факультета является чемпионом университета, а футбольная команда – призером университета. Многие студенты факультета являются кандидатами в мастера спорта и мастерами спорта, а некоторые из них – чемпионами мира, города и республики. Многие наши студенты являются членами сборной команды России и республики университета по различным видам спорта.

Факультетом подготовлено свыше 11500 специалистов для строительной отрасли России, ближнего и дальнего зарубежья. Выпускники факультета работают в образовательных учреждениях, строительных, проектных, научных организациях и на предприятиях стройиндустрии регионов России и Бурятии, государственных учреждениях, в числе которых действующий член Совета Федерации Федерального собрания РФ, депутаты Государственной думы и т. д. Кроме того, выпускники факультета трудятся и в стенах родного вуза, продолжают славные традиции, заложенные старшим поколением ученых и преподавателей.

Находясь на пороге своего пятидесятилетия, коллектив с благодарностью вспоминает педагогов, ученых, сотрудников, которые стояли у истоков основания университета. Те, кто сегодня работает в ВСГУТУ, представляют собой сплоченный коллектив, способный решать задачи любой сложности, уверенно смотрят вперед, творят и создавая новую историю своей альма-матер.



# 15 лет деятельности некоммерческой организации «Хризотилловая ассоциация»: итоги и перспективы

Некоммерческая организация «Хризотилловая ассоциация» получила юридический статус 3 марта 1997 г. Это был период, когда в системе управления народным хозяйством происходили принципиальные перемены, и создание ассоциации стало своего рода способом адаптации хризотилловой промышленности к новым экономическим условиям.

До 90-х гг. прошлого столетия хризотилловая (асбестовая) отрасль была одной из наиболее экономически благополучных в промышленности строительных материалов. Благодаря крупнейшим в мире природным запасам хризотил-асбеста отрасль относилась к экспортно-ориентированным: ее продукция поставлялась почти в 80 стран. В 1980-е гг. в мире производилось 6 млн т асбеста, и тем не менее спрос значительно превышал предложение. На этом фоне в странах, не имеющих месторождений хризотила, начались интенсивные поиски его заменителей. Картели, заинтересованные в рынках сбыта альтернативных хризотилу материалов, начали беспрецедентную информационную войну, целью которой было уничтожение конкурента – хризотилловой промышленности, в том числе и в России.



Н.Ф. Измеров



Ю.А. Козлов



А.А. Гольм

Создание ассоциации было инициативой, как говорят, «снизу». Для решения общеотраслевых проблем в ассоциацию объединились предприятия стран СНГ, производящие хризотил-асбест и содержащие его материалы и изделия, а также научные организации, которые сыграли значительную роль в достижении целей, названных в ее уставе. В настоящее время участниками ассоциации являются более 40 предприятий и организаций России и стран СНГ.

Важность этого события в 2000 г. оценила заместитель председателя Госстроя России Л.С. Барина, внимательно следившая за деятельностью ассоциации и принимавшая участие в первых заседаниях ее координационного совета. На одном из них она отметила: «Если бы в 1997 г. не создали Ассоциацию, то вашей промышленности уже не было бы». Вероятно, даже в Госстрое РФ были лоббисты производителей материалов, альтернативных хризотил-содержащим.

Экономический хаос начала 1990-х гг. негативно отразился на отрасли в целом. Объемы производства упали в четыре раза: строительство в стране практически остановилось, а значит, резко упал спрос на строительные материалы, в том числе на хризотил, 90% которого используют именно для их производства.

В этих условиях проблема защиты отрасли от нападков недобросовестных конкурентов стала особенно актуальной. В 1996 г. по инициативе руководства ОАО «Ураласбест» состоялась первая в России конференция «Асбест и здоровье». В ней участвовали представители Госстроя РФ, санитарных служб, ведущих научных учреждений страны, проводивших исследования в области медицины труда и профилактики профессиональных заболеваний в разных отраслях промышленности, в том числе асбестовой.

В центре внимания участников конференции были вопросы о возможности безопасного использования хризотила, об истинных причинах решения европейцев запретить применение всех видов асбеста – и хризотилового, и амфиболового. На основе многолетних исследований ученые – участники конференции дали четкий ответ: причин для запрета хризотила нет, как нет и полностью безопасных его заменителей.

В резолюцию конференции включили рекомендацию о создании Асбестовой ассоциации, что и было выполнено в 1997 г. Первым президентом ассоциации был избран академик, доктор медицинских наук, профессор, директор Научно-исследовательского института медицины труда Российской академии медицинских наук Николай Федотович Измеров, обозначивший перспективные стратегические направления деятельности ассоциации; исполнительным директором – Виктор Васильевич Иванов, генеральный директор ОАО «НИИпроектасбест». Юридическим адресом ассоциации и местом нахождения исполнительной дирекции были названы г. Асбест и отраслевой институт ОАО «НИИпроектасбест». В том же году АО «Асбестовая ассоциация» России стала действительным участником Международной хризотилловой ассоциации (МХА), а Н.Ф. Измеров – членом ее руководящего совета. В 1999 г. президентом ассоциации был избран генеральный директор ОАО «Ураласбест» Ю.А. Козлов.

В исполнительной дирекции\* Ассоциации все специалисты работали, без преувеличения, на энтузиазме, как говорится, «за идею». Вопросы, требовавшие оперативного решения, сложно перечислить. Успеху в выполнении большого напряженного объема работы способствовали слаженная деятельность исполнительной дирекции, координационного совета и сопresidentов

\* С августа 2011 г. в связи с необходимостью оперативного решения на уровне правительства, министерств, госучреждений в рамках международных организаций задач, стоящих перед ассоциацией, исполнительная дирекция дислоцируется в г. Москве, ее возглавляет Владимир Александрович Галицын.

Ассоциации Ю.А. Козлова (генеральный директор ОАО «Ураласбест») и А.А. Гольма (генеральный директор ОАО «Оренбургские минералы»), Ю.Т. Комарова вице-президента, директора Московского представительства ассоциации.

В 2003 г. Асбестовая ассоциация была переименована в Хризотилевую. Это было связано с тем, что асбест – это общее название шести волокнистых минералов природного происхождения. Они подразделяются на две группы: серпентиновую (хризотил) и амфиболовую (крокидолит, амозит, антофиллит, тремолит и актинолит). Использование асбестов амфиболовой группы запрещено Конвенцией МОТ № 162 «Об охране труда при использовании асбеста», поскольку в России добывается и применяется в производстве материалов и изделий только хризотил-асбест, название ассоциации было приведено в соответствие с этим типом асбеста.

В первые годы работы перед ассоциацией стояла достаточно сложная задача – преодоление антиасбестовых настроений у россиян, поверивших в «озабоченность» зарубежных «доброжелателей» негативным воздействием асбеста на население народов всех стран мира, в том числе и России. В связи с этим руководством ассоциации были предприняты меры по всестороннему изучению проблемы «Асбест и здоровье».

За 15 лет ассоциацией были проведены международные конференции в России, Украине и Узбекистане с участием известных российских и зарубежных ученых-гигиенистов, в том числе из США, Великобритании, Швейцарии и других стран, многочисленные обучающие семинары и т. п.

Результаты медико-гигиенических исследований, накоплению и анализу которых руководство ассоциации уделяло большое внимание, подтверждают, что призывы к запрету асбеста обусловлены не беспокойством о здоровье населения Земли, а желанием владельцев монополий заполнить мировые рынки собственной продукцией и стабилизировать экономическую ситуацию в их странах. Ведь ни в одной из стран Евросоюза нет месторождений хризотила, что и вынудило их вести поиск и налаживать производство его заменителей.

С целью информирования соотечественников о реальных причинах антиасбестовой кампании специалисты ассоциации участвовали в десятках выставок в разных регионах страны, в СМИ опубликованы сотни статей просветительского содержания. В этом деле очень значимы глубокое понимание проблемы и поддержка Ассоциации журналистами, в том числе редакцией журнала «Строительные материалы»<sup>®</sup>. Изданы десятки сборников материалов конференций и семинаров и т. п., дающих объективную, научно подтвержденную информацию о безопасности контролируемого использования хризотила и содержащих его материалов и изделий. Считаем, что самая высокая оценка этой деятельности – мнение специалистов-посетителей выставок, называющих антиасбестовую кампанию экономической диверсией конкурентов. Такое понимание ситуации будет способствовать дальнейшему использованию хризотилцементных материалов в строительстве, особенно социального и других видов жилья, финансируемых полностью или частично за счет бюджетных средств.

Как показало время, правильным и дальновидным стало создание «штаба» ассоциации в ОАО «НИИпроектасбест», так как решение проблем отрасли невозможно без научно обоснованного подхода, без разработки комплекса нормативных документов. Это направление деятельности было осложнено еще и тем, что в перестроечные годы научно-исследовательские институты в асбестоцементной и асбестотехнической отраслях промышленности прекратили свое существование. Их функции стал выполнять ОАО «НИИпроектасбест». В короткий срок был разработан и представлен на утверждение в соответствующие госструктуры комплекс нормативных документов. Все эти годы институт работал над модернизацией действующего оборудования, создавал новое, что способствовало дальнейшему улучшению условий труда, повышению безопасности производства хризотила за счет механизации наиболее трудоемких технологических операций.

К наиболее значимым результатам деятельности ассоциации относятся следующие.

- В 1998 г. Правительством Российской Федерации было принято постановление № 869 «Позиция Российской Федерации по использованию хризотилового асбеста», важность которого трудно переоценить в деле преодоления антиасбестовых настроений в общественном сознании россиян, а также на международном уровне.



Ю.Т. Комаров



В.В. Иванов



В.А. Галицын



Участие в выставках



Международная конференция



- В апреле 2000 г. Россия ратифицировала Конвенцию Международной организации труда (МОТ) № 162 «Охрана труда при использовании асбеста». В ходе подготовки к этому событию была проведена большая работа по выполнению рекомендаций, записанных в Конвенции, касающихся обеспечения безопасных условий труда на всех предприятиях отрасли. В продвижении этих очень важных для отрасли документов много сделал бывший работник комбината «Ураласбест» главный инженер «Главасбеста», позже руководитель ООО «Асбест» Юрий Иванович Глазунов.
- В 2000 и 2001 гг. Госсанэпиднадзором РФ утверждены перечни асбестоцементных материалов и конструкций, разрешенных к применению в строительстве (ГН 2.1.2/2.2.1.1009-00), и асбестосодержащих изделий и материалов, которые разрешены к промышленному производству и применению для транспортных средств, механизмов, оборудования, изделий промышленной и бытовой техники и систем.
- В марте 2011 г. после нескольких лет работы ассоциации по подготовке большого пакета необходимых документов, на основе результатов научных исследований, Российская Федерация присоединилась к Роттердамской конвенции о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле. В рамках этой Конвенции особенно агрессивно проявляют себя антиасбестовые лоббисты, стараясь методом принуждения заставить государства ввести запреты на использование хризотила. Благодаря присоединению к Конвенции представители России на предстоящих заседаниях ее сторон, в частности в 2013 г., смогут полноправно, совместно с делегациями других стран отстаивать позицию отсутствия оснований для включения хризотил-асбеста в перечень опасных химических веществ и пестицидов, на чем настаивают наши оппоненты, преследуя далеко идущие цели.

В настоящее время наша страна занимает ведущее место в мире по объемам добычи хризотила. Так, в 2011 г. его мировое производство составило около 2 млн т, в том числе 50% – российское: 70% добытого хризотила экспортируется в 30 стран мира (страны СНГ, Юго-Восточной Азии, Ближнего Востока, Южной Америки), 30% используется на внутреннем рынке для производства хризотилцементных, асбестотехнических, теплоизоляционных и других материалов. По сравнению с 2010 г. продажи возросли на 32 тыс. т (103,4%), в основном за счет экспортных поставок. К сожалению, спрос на хризотилцементные кровельные материалы и изделия в России несколько снизился относительно того же 2010 г. В то же время в январе 2012 г. производство и реализация, например, хризотилцементных труб по сравнению с январем 2011 г. составили 160%. Возможно, это свидетельствует о том, что специалисты ЖКХ в условиях дефицита ресурсов и большого объема изношенных инженерных сетей, требующих замены, по достоинству оценили долговечные хризотилцементные трубы. Ведь срок их безаварийной службы при соблюдении технологии укладки (СП 41-106–2006) – 30–50 лет, причем не прогнозируемый, а подтвержденный практикой эксплуатации.

Следует отметить, что НО «Хризотилевая ассоциация» сотрудничает со многими научно-исследовательскими институтами, что позволяет доказательно противодействовать антиасбестовой кампании.

За 15 лет деятельности Хризотилевой ассоциации сделано многое, но на этом работа не заканчивается. Как грибы после дождя, появляются за рубежом и даже в России так называемые экологические негосударственные организации, спонсируемые, в частности, Евросоюзом, задача которых – отработать полученные гранты и постараться отправить хризотилевую отрасль в небытие. Поэтому противодействие антиасбестовому лобби продолжает оставаться актуальнейшей задачей НО «Хризотилевая ассоциация». И есть уверенность, что научные знания будут превалировать над домыслами, какую бы эмоциональную окраску они ни приобретали.

Выводы отечественных и зарубежных ученых относительно влияния хризотила на здоровье человека таковы: соблюдение правил безопасности сводит риск профессиональных заболеваний для работающих с хризотилом к минимуму.



г. Асбест

Уровень профессиональных заболеваний на предприятиях наших отраслей далеко не на первом месте по сравнению со многими предприятиями химической, металлургической и других отраслей промышленности. По американской ранжированной классификации в перечне вредных веществ асбест хризотилевый находится во второй сотне.

Неоспоримый факт, что вдыхать асбестовую пыль вредно, как и любую другую пыль. Она является профессиональной вредностью, поэтому для работающих, где есть источники ее выделения, существуют правила безопасности.

Крупнейшее в мире месторождение хризотила находится в г. Асбесте (Свердловская обл.). В ряде зарубежных средств массовой информации ретивые журналисты, побывав в нем и высказав восторги, затем называли его, шокируя обывателя, «мертвым городом», «городом-призраком» и символом «асбестовой чумы». Но фактические данные свидетельствуют о том, что в городе не выявлено ни одного случая непрофессионального асбестоусловленного заболевания. Женщины рожают детей, спортсмены добиваются высоких результатов, в том числе и на мировой арене. В общем, город, которому дало жизнь Баженовское месторождение хризотила более 100 лет назад, живет обычной для российских городов жизнью. У него есть будущее, и оно тоже связано с хризотилом.

Запрет использования хризотила, о чем мечтают уже более 30 лет зарубежные «доброжелатели», – это экономическая и социальная бомба для миллионов людей, занятых в производстве хризотилсодержащих изделий (шифер, трубы, автозапчасти и многое другое – более 3000 наименований) и использующих их, так как заменителей, надежных и сопоставимых по цене, для большинства из них не найдено.

И это не случайно, ведь хризотил по совокупности природных свойств уникален, неповторим ни в одном природном или искусственно созданном веществе.

*Зам. генерального директора ОАО «Ураласбест»,  
председатель экспертного совета  
НО «Хризотилевая ассоциация»  
**В.А. Кочелав;**  
ответственный секретарь координационного совета  
НО «Хризотилевая ассоциация»  
**С.А. Шкаредная***





# skamol

## МЫ В РОССИИ

WE ARE IN RUSSIA

### МИРОВОЙ ЛИДЕР

В ОБЛАСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ УЛЬТРАЛЕГКОВОЕСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ  
НА ОСНОВЕ ДИАТОМИТА, СИЛИКАТА КАЛЬЦИЯ И ВЕРМИКУЛИТА

ООО «Скамол Рус»

433031, Ульяновская область, г. Инза, ул. Чернышевского, 5

Тел./факс: +7 (84241) 27-595, E-mail: info@skamol.ru

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

В.В. ПРОНЬ, генеральный директор, С.М. ВОСТРОКНУТОВ, первый заместитель генерального директора, А.Ю. САМОХИН, зам. директора по перспективному развитию, Е.А. МАЛЫХИНА, ведущий специалист по проектированию и перспективному развитию, ООО «СпецПолимерНефтеГазСтрой» (Московская обл., Подольский р-н, п. Щапово)

## **Инновационные разработки по укреплению земляного полотна в дорожном строительстве**

Земляное полотно — сложное инженерное сооружение, возведенное из грунта и имеющее грунтовое основание. Воздействия, которым оно подвергается (динамические нагрузки от подвижного состава, давление массы самой конструкции дороги), отрицательно влияют на его прочность, устойчивость и долговечность.

В зависимости от местных условий, вида грунтов и конструкции земляного полотна в нем могут появляться и развиваться различные деформации. Практика эксплуатации дорог России показывает, что, несмотря на определенные затраты на ремонт и усиление земляного полотна, состояние его практически не улучшается, а протяженность деформирующегося земляного полотна многие годы остается примерно одинаковой.

Под воздействием внешних сил и процессов, протекающих в земляном полотне и дорожной одежде, на проезжей части возникают различные неровности — волны, колеи, выбоины, просадки, прогибы, оползни и др. Появление неровностей отрицательно сказывается на эффективности работы автомобильного транспорта, способствует снижению безопасности дорожного движения, уменьшает долговечность дороги, снижает межремонтные сроки.

В длительно эксплуатируемом земляном полотне, которое многие годы считалось надежным, посте-

пенно могут накапливаться изменения в состоянии грунтов, которые в конечном счете иногда приводят к неожиданным деформациям (рис. 1 а, б).

Применение в строительстве существующих геосинтетических материалов и геосотовых конструкций не позволяет в полной мере обеспечить постоянный надежный проезд и работу строительной техники в процессе строительства и ремонта дорог, особенно в межсезонье.

Чаще всего с проблемой укрепления слабых оснований сталкиваются в районах с неблагоприятными гидрогеологическими и климатическими условиями, в частности в нефте- и газодобывающих районах Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке (рис. 2). При строительстве дорог в таких районах неизбежно приходится пересекать заболоченные участки с преобладанием водонасыщенных торфяных грунтов и сапропелей.

При строительстве дорог, проходящих по болотам с небольшой глубиной залегания слабых грунтов, наиболее устойчивое земляное полотно возводится с использованием метода полного выторфывания. При прохождении глубоких болот, где толщина залегания слабых грунтов велика, этот метод приводит к большим объемам земляных работ (до 80 тыс. м<sup>3</sup> на 1 км) и, следовательно, значительно повышает стоимость и трудоемкость строительства.

В случае возведения насыпи большой высоты с частичным выторфыванием или без него в период эксплуатации дороги на покрытии возникает большое количество дефектов:

- неравномерная осадка насыпи приводит к нарушению двускатного поперечного профиля;
- на низших и переходных типах покрытий происходит образование колеи;
- на покрытиях из сборных железобетонных плит происходит смещение плит относительно друг друга, разлом и раскалывание, что требует их замены;
- размывание откосов насыпи и т. п.

На сегодняшний день проблема устройства земляного полотна на слабых основаниях весьма актуальна и требует альтернативных методов решения.

После проведенных исследований, обобщив положительный опыт применения геосотовых конструкций и геосинтетических материалов в конструкциях автодорог (2008 г.) научно-производственное предприятие ООО «СпецПолимерНефтеГазСтрой» разработало и запатентовало конструкцию — **Геоматрицу ГМ** для строительства высокопрочного основания земляного полотна на подъездных и вдольтрассовых технологических проездах, железнодорожных путях, площадках, насыпях, откосах насыпей, подходов к мостам, площадочных объектов



Рис. 1. Деформации в покрытии автодороги (а); деформации в земляном полотне автодороги (б)



Рис. 2. Провал техники на слабом основании



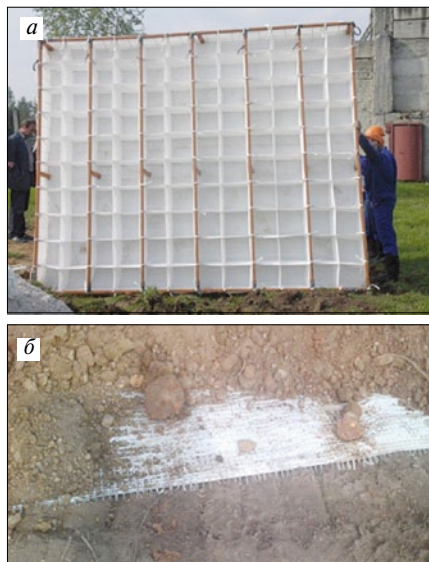


Рис. 3. Ячеистая Геоматрица ГМ (а); сетчатая Геоматрица ГМ (б)

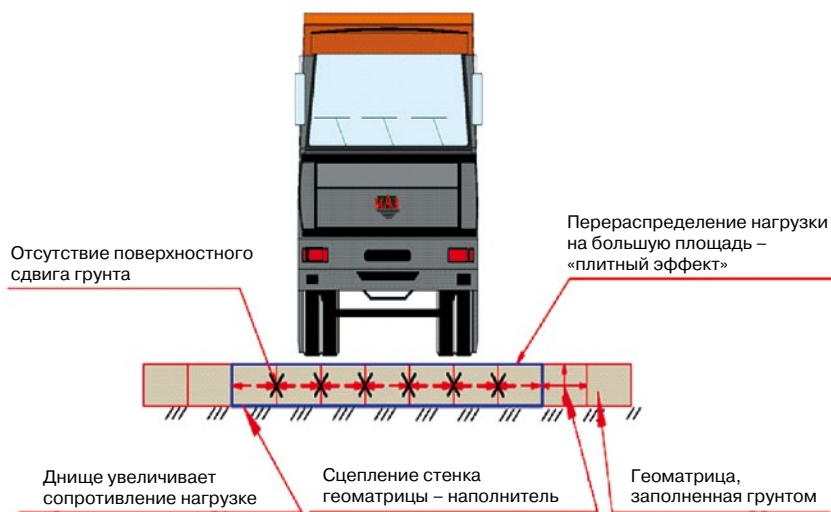


Рис. 4. Схема распределения нагрузок на Геоматрицу ГМ

из местного и привозного строительного материала (грунта, песка, гравия, смеси минеральных материалов) в сложных условиях строительства, капитального ремонта и эксплуатации [1].

Применение Геоматрицы ГМ в дорожной конструкции выполнит следующие функции:

- фильтра, препятствующего перемешиванию слоев несвязанных и связанных грунтов между собой при динамических воздействиях и задерживающего взвешенные в воде грунтовые частицы;
- дрены, способствующей отводу воды из окружающего грунта, снижению порового давления и повышению плотности и прочности грунта;
- армирующего элемента, перераспределяющего возникающие в грунтовом массиве напряжения и частично воспринимающего растягивающие напряжения [2].

Применение Геоматриц ГМ значительно превышает надежность дорожных конструкций, снижает объем использования естественных зернистых материалов, компенсирует недостатки грунтов, повышает их механические свойства, увеличивается срок между капитальным ремонтом дорожных сооружений.

Геоматрицы ГМ (ТУ 2290-003-86661679–2008) [3] изготавливают из долговечных, экологически безопасных, обладающих хорошими дренирующими свойствами синтетических материалов со сроком службы в грунтовых условиях более 50 лет. Проведенные ОАО «СОЮЗДОРНИИ», ОАО «МАДИ», ООО «ВНИИГАЗ» испытания ГМ показали, что данная технология может успешно применяться

в транспортном строительстве. Геоматрица ГМ сертифицирована в системе сертификации ГОСТ Р. Конструкция ГМ защищена патентом РФ [3].

Геоматрицы ГМ выпускают двух видов – ячеистой и сетчатой структуры (рис. 3, а, б).

**Геоматрица ГМ:**

- имеет трехмерную геометрическую форму для фиксации уплотненного слоя грунта большой высоты, замкнутого со всех сторон по принципу грунта в обойме и обеспечивает его оптимальную влажность;
- имеет гибкое основание-дно, которое препятствует вымыванию и проседанию грунта, предотвращает проникание грунта насыпи в подстилающий слабый грунт;
- армирует основания большой высоты независимо от уровня воды над поверхностью земли, для чего может иметь ячейки высотой до 1,5 м;
- обладает хорошими дренирующими свойствами для отвода выжидаемой воды из основания и стабилизации водного режима верхней части земляного полотна;
- равномерно распределяет значительные динамические нагрузки, действующие на насыпь большой высоты, выравнивая напряжения по поверхности контакта подошвы насыпи с грунтом основания в процессе всего периода эксплуатации;
- увеличивает сопротивление сдвигу грунта;
- обеспечивает круглогодичное применение в грунтовых условиях при температуре окружающей среды -65 – + 60°C;
- изготавливается из стойких к воздействиям микробиологиче-

ского фактора почвогрунтов, обладающих высокой химической стойкостью; экологически безопасных, имеющих хорошие дренирующие свойства синтетических материалов с повышенной прочностью, светостойкостью и сроком службы в грунтовых условиях более 50 лет.

На грунтовом основании, построенном с применением технологии Геоматриц ГМ, может быть сформировано любое дорожное покрытие (гравийное, асфальтобетонное, цементобетонное, сборное из железобетонных плит и т. д.). Технология монтажа ГМ проста, не требует больших трудозатрат и времени, а также дополнительного обучения персонала.

Пассивное сопротивление смежных ячеек с наполнителем, тесная взаимосвязь наполнитель – ячейка – вот факторы, обеспечивающие повышение жесткости дорожной конструкции (рис. 4).

Объемная ячеистая структура Геоматрицы ГМ при воздействии на нее нагрузки локализует деформации, которым подвергается наполнитель (грунт), ограничивает поверхностный сдвиг грунта, а перераспределение нагрузки на большую площадь создает плитный эффект. Наличие у Геоматрицы ГМ дна увеличивает сопротивление нагрузки всей конструкции.

Каждая Геоматрица ГМ ячеистой структуры в растянутом положении образует гибкий прямоугольный ячеистый короб площадью 4–12,5 м<sup>2</sup>. Размерный ряд Геоматриц ГМ довольно широк и насчитывает более 40 наименований. Высота ячеек Геоматриц ГМ зависит от области и конструкции применения и может быть от 5 см до 1,5 м.





**Рис. 5.** Сборка монтажной рамы



**Рис. 6.** Натягивание Геоматрицы ГМ на монтажную раму



**Рис. 7.** Засыпка Геоматриц ГМ строительным материалом



**Рис. 8.** Демонтаж рамы высотой до 0,5 м



**Рис. 9.** Демонтаж рамы высотой более 0,5 м



**Рис. 10.** Трамбовка грунта ковшом экскаватора

Геоматрица ГМ с сетчатой структурой представляет собой геотекстильную плоскую конструкцию с линейно расположенными ячейками различного размера, которые выполнены из полиэфирных нитей в виде жгутов отличающихся по толщине и видам плетения и скреплены с гибким основанием — это облегчает укладку и хорошее соединение материала с грунтом или асфальтобетоном.

Геоматрицы ГМ с сетчатой структурой рекомендуются при устройстве асфальтобетонных покрытий благодаря следующим свойствам:

- механические свойства полиэфира хорошо согласовываются с величиной модуля упругости (рабочей характеристикой) асфальтобетонной смеси;
- полиэфир мало подвержен усадке и температурному воздействию до 200°C;
- на полиэфир легко наносится слой битума, что обеспечивает хорошее сцепление.

Определяющим достоинством Геоматриц ГМ является возможность их укладки без повреждения ремонтируемого асфальтобетонного покрытия, а также наличие надежного сцепления их с асфальтобетонным покрытием.

Основой успешного применения данной технологии служит то обстоятельство, что она обеспечивает втрое больший срок эксплуатации асфальтобетонного покрытия и соответственно больший интервал времени между мероприятиями по его ремонту в любой климатической

зоне. Ремонт армированного асфальтобетонного покрытия не представляет трудности, так как Геоматрица ГМ легко разрезается вместе с асфальтобетоном и полученный таким образом асфальтобетонный лом может быть использован вторично.

Геоматрица ГМ с сетчатой структурой выпускается в рулонах шириной 5–5,3 м, длиной 75 м.

С применением Геоматриц ГМ различных размеров возможно строительство автодорог (проездов, площадок) любой ширины, длины, формы и высоты насыпи земляного полотна.

**Основная цель применения Геоматрицы ГМ** — обеспечение надежного и долговечного функционирования автодорог, технологических проездов, промплощадок, противоэрозионных сооружений и других объектов в сложных условиях.

Геоматрица ГМ применяется:

- для повышения несущей способности основания земляного полотна различных сооружений: автодорог, проездов, подъездов, площадок;

- для укрепления насыпей и откосов, конусов мостов и путепроводов, сооружения армогрунтовых подпорных стен, дамб, обочин;

- в качестве элементов противоэрозионных и защитных сооружений, армирования слабых оснований, для защиты поверхности откосов насыпей и выемок;

- при армировании конструктивных слоев дорожной одежды и основания земляного полотна,

особенно в сложных инженерно-геологических условиях в различных климатических зонах;

- для устройства качественного дренажа;

- при отсутствии необходимости удаления слабого грунта;

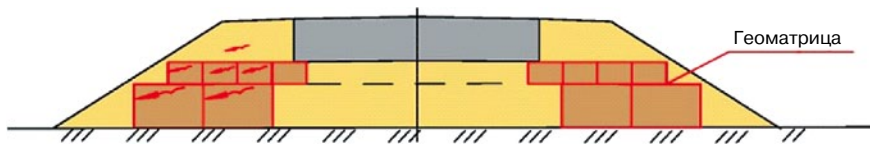
- для компенсации недостатков механических свойств и снижения объемов используемых естественных зернистых материалов.

Наибольший эффект применение Геоматриц ГМ дает на различных слабых, неустойчивых или нарушенных грунтах (сыпучих, талых, пучинистых, мерзлых, вечномерзлых и т. д.), в том числе на подтопленных, заболоченных и обводненных участках (с большой высотой залегания грунтовых вод), болотах I, II и III типов с грунтами, имеющими влажность более допустимых значений.

Разработанная технология по применению Геоматриц ГМ позволяет производить монтаж и загрузку строительного материала в ячейки



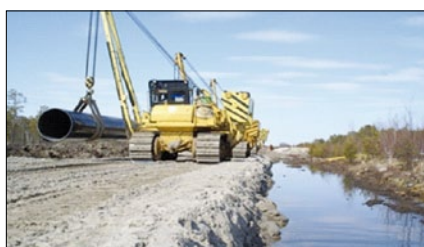
**Рис. 11.** Увязанные между собой Геоматрицы ГМ



**Рис. 12.** Конструкция земляного полотна дороги с устройством армогрунтовых подпорных стен



**Рис. 13.** Капитальный ремонт МГ «Ямбург–Тула II»



**Рис. 14.** Строительство участка магистрального газопровода «Комсомольское–Сургут–Челябинск»



**Рис. 15.** Укрепление (а) и уширение (б) земляного полотна при капитальном ремонте участка автодороги Занулье–Матвеевская–Гарь–Коржинский

Геоматрицы ГМ без ее крепления к грунту, что важно при строительстве на болотах, обводненных территориях, а особенно на вечномерзлых грунтах.

На спланированной поверхности перед укладкой Геоматриц ГМ рекомендуется при необходимости произвести отсыпку песком слоем до 100 мм. В трассовых условиях возможно под основание Геоматриц ГМ размещать порубочные остатки древесно-кустарной растительности, равномерно их распределяя.

Монтажная рама (МР) – металлическая, инвентарная, разборная конструкция со специальными устройствами для крепления и сброса монтажных лент Геоматриц ГМ, используется для растяж-

ки и засыпки Геоматриц ГМ грунтом (рис. 5). Полученный легкий прямоугольный короб, сформированный из Геоматрицы ГМ, растянутый на монтажной раме, укладывают поверх спланированной поверхности (рис. 6). Далее растянутые и уложенные Геоматрицы ГМ заполняют различным сыпучим строительным материалом – песком, гравием, смесью грунта с различными строительными материалами (рис. 7).

Затем производят демонтаж и перестановку монтажной рамы, после чего над полученным основанием создают насыпной слой высотой не менее 0,1 м (рис. 8, 9).

По поверхности полученного основания производят трамбовку

засыпного материала при помощи вибротрамбовки, катка или ковша экскаватора (рис. 10). Далее процесс повторяется.

Соединенные (увязанные) между собой Геоматрицы ГМ формируют равномерный гибкий ковровый слой, который после засыпки и трамбовки превращается в сплошную грунтовую плиту (рис. 11).

Основание автодороги, состоящее из неразрывно соединенных Геоматриц ГМ, уже после уплотнения грунта может сразу эксплуатироваться для прохождения тяжелой колесной и гусеничной строительной техники или в качестве стоянки экскаватора в процессе дальнейших строительных работ.

Также в случае необходимости возведения насыпей большой высоты возможна укладка Геоматриц ГМ на слабый грунт слоями по принципу «сэндвич».

Земляное полотно можно укреплять по способу устройства армогрунтовых подпорных стен. Устройство армогрунтовой подпорной стенки с применением Геоматриц ГМ представляет собой многослойную конструкцию, в которой Геоматрицы ГМ расположены одна над другой со смещением на расстояние, равное половине ширины ячейки. Заполнение ячеек Геоматриц ГМ производят, как правило, песчаным грунтом с добавлением не более 15% каменных материалов. Материал засыпки должен обладать хорошими дренирующими свойствами и иметь угол внутреннего трения не менее 25°. Подпорные стены из армированного Геоматрицами ГМ грунта характеризуются экономичностью и простотой возведения, причем эффективность их возрастает с увеличением высоты (рис. 12). Податливость стен за счет деформативности грунта делает их нечувствительными к осадкам основания.

Технология укрепления грунтов с помощью Геоматриц ГМ уже нашла свое применение на объектах нефтегазовой отрасли. Новая технология укрепления земляного полотна Геоматрицами ГМ позволяет обеспечить круглогодичную эксплуатацию автодорог, производственных площадок, вдольтрассовых и технологических проездов, используемых при строительстве и эксплуатации объектов добычи и транспорта нефти и газа, отказаться от сооружения дорогостоящих и трудоемких конструкций – лежневок и зимников [4, 5].

Только благодаря использованию Геоматриц ГМ на строительстве вдольтрассового проезда было возможно провести капитальный





**Рис. 16.** Состояние участков вдольтрассового проезда МГ «Ярославль–Кириши»: а – в 2009 г.; б – в 2011 г.

ремонт магистрального газопровода «Ямбург–Тула II». При торфяной обводненной залежи глубиной более четырех метров вдольтрассовый проезд, построенный с примени-

ем Геоматрицы ГМ, выдерживал нагрузку порядка 100 т (рис. 13).

Технология Геоматриц ГМ была успешно применена на участке трассы МГ «Комсомольское–Сургут–

Челябинск». По вдольтрассовому проезду передвигался поезд трубоукладчиков с плетью труб общей массой более 200 т (рис. 14).

Дорожное агентство Республики Коми при капитальном ремонте участка автодороги «Занулье–Матвеевская–Гарь–Коржинский» протяженностью 15 км на самом проблемном участке дороги применило технологию укрепления земляного полотна Геоматрицей ГМ (рис. 15).

Был проведен мониторинг вдольтрассовых проездов в Ярославской области (рис. 16). Территория строительства пролегает по заболоченным местам. Для вдольтрассового проезда применяли Геоматрицу ГМ высотой 375 мм. Материал заполнения ячеек – песок среднезернистый.

**Применение данной технологии на объектах позволит:**

- увеличить срок эксплуатации (без проведения капитального ремонта) за счет надежной защиты земляного полотна от водной и ветровой эрозии;

- обеспечить возможность производства работ по строительству и капитальному ремонту объектов, расположенных на слабых, неустойчивых грунтах независимо от времени года и климатических условий;

Реклама

**ООО «СпецПолимерНефтеГазСтрой»**

142144, Московская область,  
Подольский р-н, п. Шапово  
Тел/факс: (495) 996-75-76, +7 (496) 755-91-57  
E-mail: spngs@mail.ru, www.spngs.ru

**ООО «СпецПолимерНефтеГазСтрой»**  
Научно-производственная компания, осуществляющая свою деятельность в области производства специальных материалов и конструкций, применяемых при строительстве и реконструкции объектов энергетического комплекса, дорожного строительства, ЖКХ, ландшафтного дизайна, спортивных сооружений.



— обеспечить надежное и безопасное функционирование объектов, построенных на обводненных территориях, в том числе на болотах I–II типов;

— увеличить темпы строительства и ремонта, сократить сроки ввода объектов строительства в эксплуатацию за счет отказа от применения более сложных и дорогостоящих технологий;

— в будущем при ремонте и обслуживании добиться экономии капитальных вложений при производстве работ по строительству и капитальному ремонту объектов за счет уменьшения высоты насыпей и сокращения объемов применяемых материалов, использования широкой гаммы материалов (в качестве материала заполнения ячеек ГМ возможно применение не только песка, щебня, бетона, но и различных смесей грунтов, в том числе местного грунта);

— добиться экономии средств в процессе эксплуатации объектов, так как использование указанной технологии позволит в несколько раз увеличить ресурс земляного полотна, учитывая срок службы ГМ — не менее 50 лет;

— позволит производить работы по строительству насыпи на обводненной территории без предварительного осушения;

— обеспечит надежное и безопасное функционирование основания земляного полотна автодорог, построенных на слабых, неустойчивых грунтах, в том числе на болотах I–III типов;

**Данная технология применяется на объектах крупнейших нефтегазовых компаний ОАО «Газпром» и ОАО «АК «Транснефть». Также широкое применение технология нашла при строительстве коттеджных поселков и объектов ЖКХ, при возведении сооружений спортивного комплекса, при строительстве автодорог, проездов, площадок промышленных объектов и стоянок автотранспорта, укреплении откосов насыпей, возведении противоэрозионных сооружений, объектов ландшафтного дизайна и озеленения.**

Авторы статьи надеются на заинтересованность дорожников в предлагаемой технологии и готовы оказать любую помощь в ее внедрении.

**Ключевые слова:** Геоматрица ГМ, укрепление земляного полотна, мон-

тажная рама РМ, капитальный ремонт, вдольтрассовый проезд, насыпь на заболоченных и вечномерзлых грунтах.

**Список литературы**

1. Жинкин Г.Н., Грачев И.А. Особенности строительства железных дорог в районах распространения вечной мерзлоты и болот. М.: УМК МПС России, 2001.
2. Львович Ю.М. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. М.: Информавтодор, 2002.
3. Патент РФ на полезную модель В.В. Пронь, С.М. Вострокнутов № 78233 от 20 ноября 2008 г. Бюл. № 12 2008, Роспатент.
4. Устьян Н.А. Опыт комбинированного применения геосинтетических материалов при строительстве транспортных сооружений // Мир дорог. 2010. № 48.
5. Устьян Н.А., Смелов Е.А. Геоcontainers и их применение в строительстве // Гидротехника. 2011. № 3(24).

**23–25 мая**  
АСТАНА, КАЗАХСТАН

2012





14-я КАЗАХСТАНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ВЫСТАВКА "СТРОИТЕЛЬСТВО"



СТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНТЕРЬЕР  
ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО



ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ  
ОКНА И ДВЕРИ, ФАСАДЫ  
КЕРАМИКА И КАМЕНЬ

Для дополнительной информации посетите официальный сайт выставки:

[www.astanabuild.kz](http://www.astanabuild.kz)






Itesca (Алматы)  
Тел.: +7 727 2583434; Факс: +7 727 2583444; E-mail: build@itesca.kz

Itesca (Астана)  
Тел.: +7 7172 58 02 55; Факс: +7 7172 58 02 53; E-mail: astanabuild@itesca.kz

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

## Теплопроводность полистирольного пенопласта (ВПС\*) при средней температуре +10°C

Ценной технической характеристикой пенополистирольных (ППС) плит является их низкая теплопроводность при малой плотности и сравнительно высоких механических характеристиках. Поэтому исследования зависимости коэффициента теплопроводности ППС плит от их плотности представляют практический интерес, а в литературе они освещены мало [1].

Для исследований применены плиты из ППС, изготавливаемые производителями беспрессовым способом – вспениванием в замкнутом объеме сырья в виде бисера твердых гранул диаметром 0,9–2,5 мм фирм StyroChem (Финляндия), BASF (Германия). Исследованы плиты типов ВПС 50 – ВПС 250 при изменении их плотности от 14 до 38 кг/м<sup>3</sup> [1]. Номинальная толщина плит составляла 50 и 100 мм.

Измерение коэффициента теплопроводности образцов ППС размерами 305×305×(50 и 100) мм проводили при средней температуре 10°C согласно требованиям [2÷4] на приборе симметрической конфигурации с горизонтально расположенными измерителями теплового потока и защитой боковых поверхностей образца – FOX 304 (Laser Comp, США). Направление теплового потока осуществляли снизу вверх, перепад температуры между холодной и горячей пластинами составлял 20°C. Калибровку прибора проводили по сертифицированным эталонам из ВПС (Институт NIST, США) и стекловолоконной плиты IRMM-440 (Институт IRMM, Европейский союз). Образцы предварительно доводили до равновесной гигроскопической влажности при 23±2°C и относительной влажности воздуха 50±5%.

При измерении коэффициента теплопроводности образцов наблюдали рассеяние полученных значений экспериментальных данных, обусловленное специфич-

кой структуры материала [5]. Значения коэффициента теплопроводности в области исследований снижаются с увеличением плотности ППС. Чтобы оценить степень его снижения для обработки результатов измерений, применен метод регрессионного анализа. Метод позволяет не только судить о характере взаимосвязи отдельных факторов, но и количественно определять величину коэффициента теплопроводности ППС по результатам измерения его плотности.

В выполненных исследованиях тип зависимости между переменными величинами (коэффициент теплопроводности – плотность ППС) принят согласно [1] (там же, рис. В.2):

$$\bar{\lambda}_{10^{\circ}\text{C}} = b_0 + b_1 \cdot \rho + \frac{b_2}{\rho}, \quad (1)$$

где  $b_0, b_1, b_2$  – постоянные параметры уравнения, вычисляемые по экспериментальным данным методом наименьших квадратов;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>.

Задача сводилась только к определению постоянных коэффициентов в эмпирических уравнениях связи методом наименьших квадратов [6].

Для оценки прогнозируемых значений  $\lambda_{10^{\circ}\text{C}}$  по регрессионным уравнениям использовали среднее квадратическое отклонение  $S_r$  (абсолютная величина меры отклонений опытных данных от рассчитанной кривой постоянная для всех ее участков), которое определяли по формуле:

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\lambda_{10^{\circ}\text{C},i} - \bar{\lambda}_{10^{\circ}\text{C},i})^2}{n-m}},$$

где  $\lambda_{10^{\circ}\text{C},i}; \bar{\lambda}_{10^{\circ}\text{C},i}$  – фактическое (по данным измерений) и по регрессионному уравнению  $i$ -е значение коэффици-

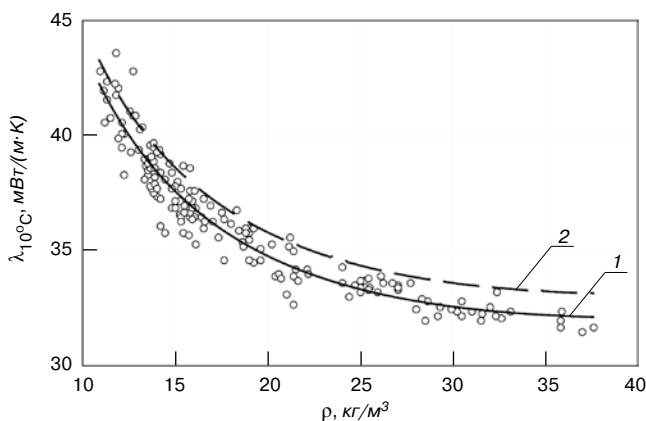


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности ППС плит номинальной толщиной 50 мм от их плотности: точки – экспериментальные значения для плит различных производителей; 1 – средние значения по регрессионному уравнению (2), 2 – прогнозируемые значения

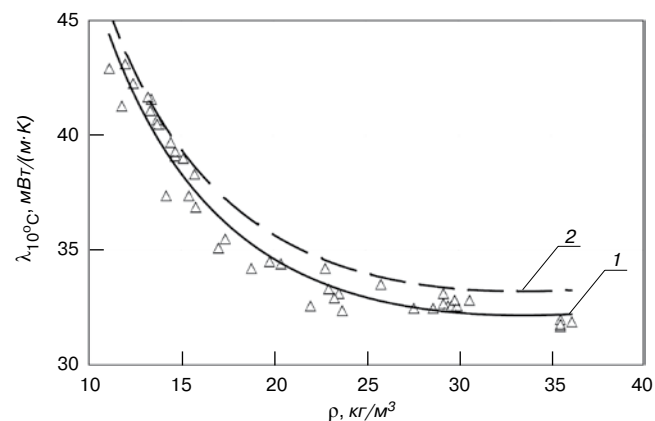


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности ППС плит номинальной толщиной 100 мм от их плотности: точки – экспериментальные значения; 1 – средние значения по регрессионному уравнению (3), 2 – прогнозируемые значения

\* Вспенивающийся полистирол.

Таблица 1

Коррелируемый параметр и номер регрессионного уравнения	Количество испытаний (определений)	Постоянные параметры регрессионных уравнений зависимостей (1) и (5)				$S_r$ МВт/(м·К)	$\eta_{\lambda}^2 \cdot \rho$	$\delta^* = t_{\alpha} \cdot S_r$ МВт/(м·К)
		$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$			
$\lambda_{10^\circ\text{C}} \rightarrow \rho$ (2) $d_s = 50$ мм	172	22,024	0,123	205,86	–	0,7992	0,923	1,029
$\lambda_{10^\circ\text{C}} \rightarrow \rho$ (3) $d_s = 100$ мм	43	14,025	0,2708	303,73	–	0,7996	0,958	1,042
$\lambda_{10^\circ\text{C}} \rightarrow \rho$ (4) $d_s = 50; 100$ мм	215	20,573	0,14915	223,62	–	0,8702	0,921	1,119
$\lambda_{10^\circ\text{C}} \rightarrow \rho, d_s$ (6)** $d_s = 50; 100$ мм	215	20,313	0,14322	222,48	0,00752	0,8589	0,923***	1,105

\* Односторонний доверительный интервал для прогностической оценки результативного признака с вероятностью  $P=(1-\alpha)=0,9$ .  
\*\* См. зависимость (5).  
\*\*\*  $\eta_{\lambda}^2 \cdot \rho \cdot d_s$ .

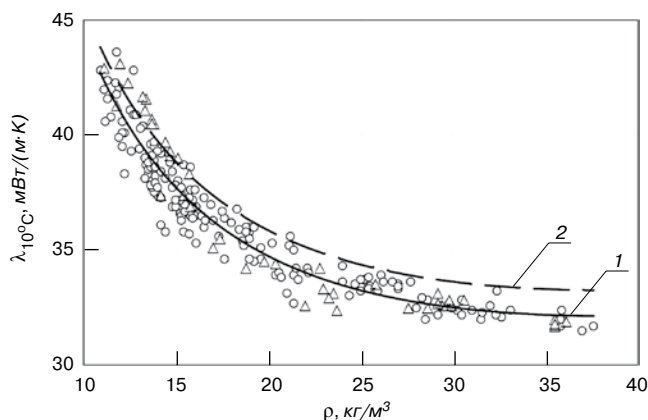


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности ППС плит номинальной толщин 50 и 100 мм от их плотности: точки – экспериментальные значения; 1 – средние значения по регрессионному уравнению (4), 2 – прогнозируемые значения

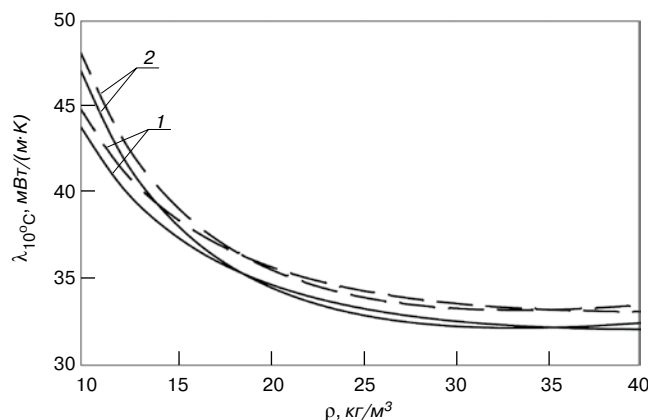


Рис. 4. Сравнение коэффициентов теплопроводности ППС плит номинальных толщин 50 и 100 мм: средние значения – сплошные линии для толщин равных, мм: 1 – 50; 2 – 100; прогнозируемые значения – пунктирные линии для толщин равных, мм: 1 – 50; 2 – 100

циента теплопроводности соответственно;  $n$  – число экспериментальных данных;  $m$  – число постоянных параметров в уравнениях.

При наличии ячеистой структуры материала передача тепла в нем обуславливается как теплопроводностью полимерных пленок, так и теплопроводностью, конвекцией газообразной фазы и излучением между стенками ячеек. Применительно к полистирольным пенопластам под коэффициентом теплопроводности понимаются усредненный показатель, учитывающий все отмеченные виды теплопередачи.

Результаты статистической обработки экспериментальных значений коэффициента теплопроводности образцов ППС плит (рис. 1–3) представлены в табл. 1, в которой приведены постоянные коэффициенты  $b_0, b_1, b_2, b_3$  регрессионных уравнений (2) – (4) зависимости (1), вычисленные по экспериментальным данным; среднеквадратические отклонения  $S_r$ , коэффициенты детерминации  $\eta_{y,x}^2$  и величины  $\delta$  для определения одностороннего доверительного интервала прогнозируемого значения характеристик с надежностью  $P = 0,9$ . Следует отметить, что коэффициенты детерминации регрессионных уравнений (2) – (4) колеблются от 0,921 до 0,958 и при 90% уровне доверия значительно превышают пороговые значения (нижние границы)  $\eta_{\lambda,\rho}^2$  для соответствующих значений  $n$  [7]. Поэтому приводимые регрессионные уравнения могут использо-

ваться в прогнозировании величин коэффициента теплопроводности ППС плит при средней температуре  $10^\circ\text{C}$ .

На рис. 1–3 представлены экспериментальные значения и линии регрессии коэффициента теплопроводности по результатам определения плотности  $\rho$  образцов.

На рис. 4 видно, что линии регрессии 1, 2 находятся в одном доверительном интервале (одностороннем, с максимальными прогнозируемыми значениями) и поэтому точечные (средние) значения этих экспериментальных выборок не противоречат друг другу, т. е. изменение  $\lambda_{10^\circ\text{C}}, d_s=50$  мм и  $\lambda_{10^\circ\text{C}}, d_s=100$  мм по выборкам нельзя считать значимым [8]. Сравнение значений  $\lambda_{10^\circ\text{C}}^{\text{прогн}}$  можно осуществить непосредственно по рис. 4 или по регрессионным уравнениям (2) и (3), представленным в табл. 1.

В табл. 2 приведены результаты статистического сравнения коэффициентов теплопроводности, вычисленных согласно регрессионным уравнениям (2) и (3) табл. 1 и (В.3) и (В.4) из [1], т. е. отношения средних значений  $\lambda_{10^\circ\text{C}}$  и возможных максимальных значений  $\lambda_{10^\circ\text{C}}^{\text{прогн}}$  (рассчитанных так, как и декларируемые значения  $\lambda_D$  [9]) для испытанных серий ППС образцов толщиной 50 и 100 мм и данных из [1] в интервале плотностей 10–40 кг/м<sup>3</sup>. На основании статистической обработки во всех рассмотренных случаях (табл. 2) отношения близки



Таблица 2

Отношения значений коэффициента теплопроводности	Статистические показатели отношений коэффициентов теплопроводности					
	<i>n</i>	$\bar{x}$	$S_x$	$\vartheta, \%$	$\bar{x} - \Delta$	$\bar{x} + \Delta$
$\frac{\bar{\lambda}_{10^\circ\text{C}}, d_s = 100 \text{ мм}}{\bar{\lambda}_{10^\circ\text{C}}, d_s = 50 \text{ мм}}$ (3)	14*	0,9997	0,0115	1,15	0,9930	1,0063
$\frac{\lambda_{10^\circ\text{C}}^{\text{прогн}}, d_s = 100 \text{ мм}}{\lambda_{10^\circ\text{C}}^{\text{прогн}}, d_s = 50 \text{ мм}}$ (3)	14*	1,0001	0,0112	1,12	0,9937	1,0065
$\frac{\bar{\lambda}_{10^\circ\text{C}}, d_s = 50 \text{ мм}}{\bar{\lambda}_{10^\circ\text{C}}, d_s = 50 \text{ мм}}$ [1 (B.3)]	16**	0,9775	0,0074	0,76	0,9736	0,9814
$\frac{\lambda_{10^\circ\text{C}}^{\text{прогн}}, d_s = 50 \text{ мм}}{\lambda_{10^\circ\text{C}}^{\text{прогн}}, d_s = 50 \text{ мм}}$ [1 (B.4)]	16**	0,9775	0,0074	0,76	0,9736	0,9814

Примечания: *n* – количество определений;  $\bar{x}$  – среднее значение;  $S_x$  – эмпирический стандарт;  $\vartheta$  – изменчивость;  $\bar{x} - \Delta, \bar{x} + \Delta$  – возможная минимальная и максимальная величины среднего значения с доверительной вероятностью  $P=0,95$ .  
 \* Отношения значений коэффициента теплопроводности в интервале плотности образцов пенополистирола 14–40 кг/м<sup>3</sup> через каждые 2 кг/м<sup>3</sup>.  
 \*\* То же, в интервале плотности 10–40 кг/м<sup>3</sup>.

к единице (при коэффициенте вариации ≈1%), т. е. различия между сравниваемыми значениями  $\lambda_{10^\circ\text{C}}$  практически незначительные.

В приведенных в статье исследованиях возможная величина ошибки  $\delta$  представлена для каждого регрессионного уравнения, что позволяет перейти к интервальному прогнозу по формуле:

$$\lambda_{10^\circ\text{C}}^{\text{прогн}} = \bar{\lambda}_{10^\circ\text{C}} \pm \delta,$$

где  $\bar{\lambda}_{10^\circ\text{C}}$  – точечное значение прогноза, например по регрессионной зависимости (1);  $\delta$  – ошибка прогноза (см. табл. 1).

Влияние толщины плит в интервале 50–100 мм можно представить регрессионной зависимостью вида (рис. 5):

$$\bar{\lambda}_{10^\circ\text{C}} = b_0 + b_1 \cdot \rho + \frac{b_2}{\rho} + b_3 \cdot d_s, \quad (5)^1$$

где  $d_s$  – толщина образца, мм;  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – постоянные параметры уравнения (их значения приведены в табл. 1, см. уравнение (6)).

Влияние толщины ППС образцов на коэффициент теплопроводности в интервале декларируемых значений  $\lambda_D$  (35–46), мВт/(м·К) можно также учитывать согласно [1] с помощью параметра  $L$ , значение которого вычисляют по формуле:

$$\bar{L} = 1,1 - 0,00429 \lambda_D + 0,000626 d_s \quad (7)^2$$

и принимают не более единицы.

Применение полистирольного пенопласта требует сведений о его коэффициенте теплопроводности при температуре от 0 до 50°C, учитывая имеющиеся в аттестатах испытаний результаты измерения теплопроводности при температуре 10 или 25°C.

Для пересчета значений коэффициента теплопроводности, измеренных при средней температуре 10 и 25°C, на другие значения температуры предложена эмпирическая зависимость, в соответствии с которой:

$$\lambda_T = \lambda_{10^\circ\text{C}} \cdot F_{(10^\circ\text{C})}; \quad (8)$$

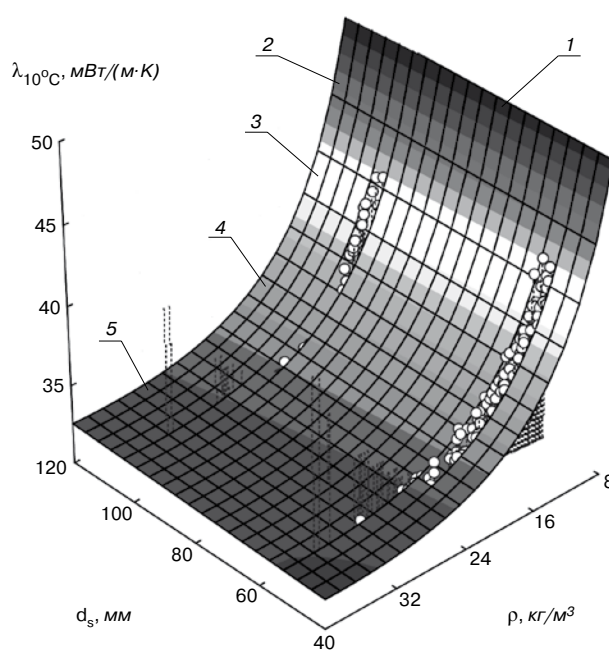


Рис. 5. Графическая интерпретация регрессионного уравнения (6) зависимости коэффициента теплопроводности  $\lambda_{10^\circ\text{C}}$  ППС плит от их плотности  $\rho$  и толщины  $d_s$ : 1 – 50; 2 – 46; 3 – 42; 4 – 38; 5 – 34

$$\lambda_T = \lambda_{25^\circ\text{C}} \cdot F_{(25^\circ\text{C})}, \quad (9)$$

где  $\lambda_T$  – коэффициент теплопроводности материала при фиксированной температуре в интервале 0–50°C;  $\lambda_{10^\circ\text{C}}, \lambda_{25^\circ\text{C}}$  – коэффициент теплопроводности материала при средней температуре измерения 10 или 25°C соответственно;  $F_{(10^\circ\text{C})}, F_{(25^\circ\text{C})}$  – коэффициенты пересчета при средних значениях температуры измерения 10 и 25°C соответственно, определяемые по эмпирическим зависимостям работы [10].

Сравнение (рис. 6) коэффициентов температурного пересчета теплопроводности ППС плит по предлагае-

<sup>1</sup> Регрессионные уравнения (2) – (4), (6) см. в первом столбце табл. 1.

<sup>2</sup> Формула представляет аппроксимацию значений  $L$ , приведенных в [1, табл. B.3]  $S_L = 0,0154; n = 26; \delta = t_{\alpha, n} S_L = 0,02$  (у 90% одностороннего критерия для образцов толщиной 50 мм).

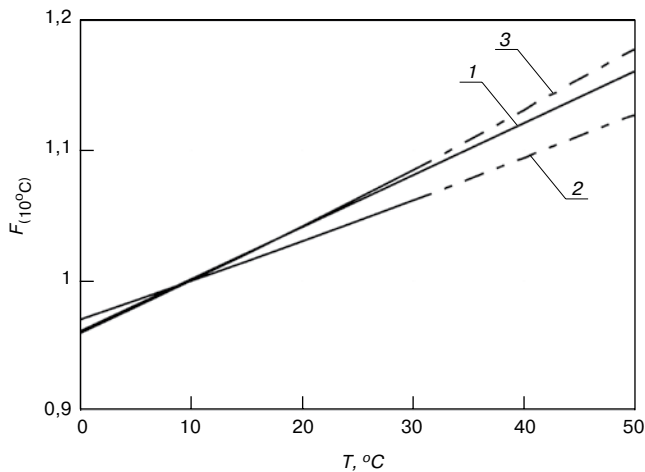


Рис. 6. Коэффициент  $F_{(10^{\circ}\text{C})}$  температурного пересчета теплопроводности полистирольного пенопласта на значения температуры в интервале 0–50°C: 1 – согласно [10], см. уравнение (3); 2, 3 – согласно нормативу [9], см. уравнение (3) при  $\lambda_{10^{\circ}\text{C}} = 0,032$  и  $0,05$  Вт/(м·К) соответственно

тому методу и согласно [9] показало, что значения коэффициентов теплопроводности отличаются на (-1,8)% при  $T=30^{\circ}\text{C}$  и (+0,9)% при  $T=0^{\circ}\text{C}$  для  $\lambda_{10^{\circ}\text{C}}=0,032$  Вт/(м·К), а при  $\lambda_{10^{\circ}\text{C}}=0,05$  Вт/(м·К) – (+0,4) и (-0,2)% соответственно. Во всех случаях пересчета в более низких температурных интервалах эта разница обычно ниже ( $\pm 0,5$ )%.

За допускаемым [9] диапазоном температуры в интервале 30–50°C экстраполированные значения согласно [5, см. формула (3)] отличаются в среднем на (-2,5)% при  $\lambda_{10^{\circ}\text{C}}=0,032$  Вт/(м·К) и (+1,2)% при  $\lambda_{10^{\circ}\text{C}}=0,05$  Вт/(м·К).

Предложенные в [10] эмпирические зависимости могут применяться на практике, в том числе и в тех случаях, когда требуются пересчеты коэффициентов теплопроводности для более широкого интервала температуры, чем в [9].

Таким образом, экспериментально определены коэффициенты теплопроводности ППС плит, изготовляемых беспрессовым способом с применением сырьевых материалов фирм StyroChem и BASF. На основании экспериментальных результатов изменение коэффициента теплопроводности плит от их плотности аппроксимировано регрессионными уравнениями (2) и (3) при номинальной толщине плит 50 и 100 мм соответственно.

Влияние толщины плит в интервале 50–100 мм представлено регрессионной зависимостью вида (5) с постоянными коэффициентами, приведенными в табл. 1 (уравнение (6)). Приведена формула для вычисления параметра  $L$ , представляющая аппроксимацию значений  $L$ , приведенных в ([1], (табл. В.3)).

Оценка теплопроводности ППС плит, изготовляемых производителями с применением сырьевых материалов фирм StyroChem и BASF, возможна по результатам настоящего эксперимента или регрессионным уравнениям [1].

**Ключевые слова:** полистирольный пенопласт, теплопроводность при средней температуре 10°C, плотность.

Список литературы

1. EN 13163:2008 (E). Thermal insulation products for buildings. Factory made products of expanded polystyrene (EPS). Specification. European Committee for Standardization, 2008. 48 pp.

2. ISO 8301:1991 (E). Thermal insulation. Determination of steady-state thermal resistance and related properties. Heat flow meter apparatus. 40 pp.

3. EN 12667-2001 (E). Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded plate and heat flow meter methods. Products of high and medium thermal resistance. 54 pp.

4. EN 12939-2001 (E). Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Thick products of high and medium thermal resistance. 32 pp.

5. Дементьев А.Г., Тараканов О.Г. Структура и свойства пенопластов. М.: Химия, 1983. 172 с.

6. Айвазян С.А. Статистическое исследование зависимостей. Применение методов корреляционного и регрессионного анализов и обработка результатов эксперимента. М.: Металлургия, 1968. 228 с.

7. Закс Л. Статистическое оценивание / Пер. с нем. М.: Статистика, 1976. 598 с.

8. Бобровников Г.Н., Клебанов А.И. Прогнозирование в управлении техническим уровнем и качеством продукции. М.: Стандарты, 1984. 232 с.

9. EN ISO 10456:2007 (E). Building materials and products. Hydrothermal properties. Tabulated design and procedures for determining declared and design thermal values. 25 pp.

10. Кершулис В.И., Гнип И.Я., Веялис С.А. Теплопроводность легких теплоизоляционных материалов в зависимости от их температуры // Строительные материалы. 2004. № 7. С. 56–57.

СОЧИ, Павильоны у Морпорта

24-26 мая

СПОРТИВНЫЙ ФОРУМ «СПОРТ-СОЧИ-2012»

в рамках Форума ВЫСТАВКА OlympExpoBuild

- проектирование, строительство и оснащение спортивных сооружений
- материалы, оборудование, технологии для строительства спортивных объектов
- спортивные покрытия

При поддержке:

Официальный партнер: Автоград

Партнер: галерея выставок ИВЕНТ-СЕРВИС

Стратегический партнер:

Генеральный информационный партнер: Business S

Генеральный информационный партнер: Спортмастер/Экспла

Генеральный информационный спонсор:

Тел./факс: (8622) 642-333, 647-555, (495) 745-77-09

СОЧИ-ЭКСПО www.sochi-expo.ru, e-mail: e.shataeva@sochi-expo.ru

В.Ю. ЧУХЛАНОВ, д-р техн. наук, М.А. ИОНОВА, инженер (malec103@mail.ru),  
Владимирский государственный университет

## Полиуретановое покрытие, модифицированное алкоксисиланом с повышенными эксплуатационными свойствами

В настоящее время полиуретан (ПУ) является стратегически важным полимером, используемым в строительной отрасли и жилищно-коммунальном хозяйстве России для защиты древесных, металлических и бетонных поверхностей от воздействий разрушающего характера. Из продуктов, получаемых на основе пенополиуретана делают теплоизоляционный материал, из литьевого ПУ – различные прокладки, из полиуретанового предполимера – защитные лакокрасочные покрытия, которые в последнее время только набирают популярность.

Обладая хорошей устойчивостью к истиранию и водопоглощению, ПУ покрытие способно долго эксплуатироваться в водных средах, надежно защищая металлическую поверхность от коррозии. Основным недостатком полиуретановых материалов является их низкая устойчивость к действию термической и термоокислительной деструкции, причем ПУ являются горючими полимерами, их кислородный индекс составляет 17–19%. Поэтому повышение устойчивости ПУ к действию высокой температуры и открытого пламени является актуальной задачей.

Для повышения эксплуатационных характеристик и снижения вышеуказанных недостатков полимер был модифицирован кремнийорганическим компонентом – тетраэтоксисиланом (ТЭОС) [1], где модификация происходит за счет образования химических связей между функциональными группами макромолекулы и алкоксисиланом. Химическая модификация дает наибольший эффект среди прочих видов модификаций композиций.

В представленной работе использовали предполимерную полиуретановую композицию, позволяющую получать покрытия по однокомпонентной схеме. Основные характеристики композиции: компонент А – высокомолекулярный сложный полиэфир; компонент Б – полиизоцианат с содержанием NCO-групп 20%. Работа с однокомпонентными композициями более удобна с технологической точки зрения, однако велика вероятность возникновения брака. Время гелеобразования покрытия составляет 30–50 мин в зависимости от условий окружающей среды. Изменение вязкости композиции – одного из важнейших технологических параметров, влияющего на выбор оборудования, представлено в таблице. Все приведенные значения получены при 20°C.

Исходная композиция	ТЭОС, мас. ч. на 100 мас. ч. предполимера	Динамическая вязкость, МПа·с	Время гелеобразования, мин
1	0	620	45
2	3	593	110
3	5	564	150
4	7	528	190
5	10	496	240

Из представленных результатов испытаний видно, что с увеличением массового содержания ТЭОС в композиции возрастает и время гелеобразования покрытия. Силоксановая пленка, образующаяся на поверхности ПУ покрытия при его модификации ТЭОС, несколько замедляет процесс отверждения. Рассматривать данное явление как полностью негативное нельзя, так как само покрытие получает достаточно времени для релаксации химических связей и снижения внутренних напряжений, в результате чего образуется покрытие с более высокими физико-механическими характеристиками и устойчивостью к действию термических нагрузок.

Другой положительный момент – отсутствие растворителя в композиции, что положительно сказывается на условиях труда и окружающей среде. Введение ТЭОС существенно снижает вязкость композиции, что позволяет перерабатывать ее рядом способов, в том числе распылением.

В связи с особенностями строения молекулы ТЭОС и ее пространственным расположением в сетчатой структуре ПУ силоксановые группировки образуют на покрытии при его полном отверждении силиконовую пленку, выполняющую роль защиты металлической или бетонной поверхности и самого покрытия. Уменьшается его водопоглощение. Капли воды агрегируются на поверхности без проникновения внутрь материала.

Все образцы выдерживали в воде в течение 24 ч согласно ГОСТ 2678–94.

На рис. 2 показана зависимость изменения водопоглощения ПУ покрытия от содержания в нем модификатора. При введении в композицию 10 мас. % ТЭОС достигается сокращение водопоглощения материала более чем в два раза. Аналогичное покрытие можно с большим успехом применять для защиты металлических поверхностей, эксплуатируемых в условиях высокой влажности или в водной среде, например трубопроводов, уложенных под водой, для значительного замедления процесса их коррозии. ПУ – один из немногих полимеров, отличающихся высокой устойчивостью к действию агрессивных сред. Соответственно комплексная структура защитного покрытия позволяет эксплуатировать его для защиты, например, металлических труб при строительстве зданий, сооружений жилищно-коммунального хозяйства, в химическом производстве и в гальванических цехах.

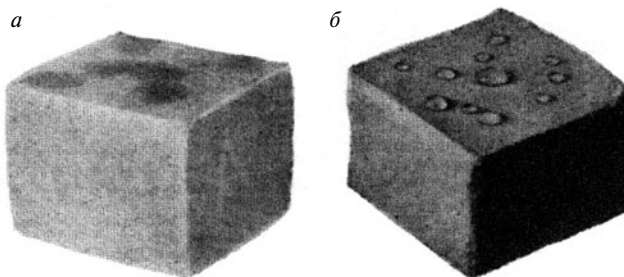


Рис. 1. Капли воды на негидрофобизированном (а) и объемно-гидрофобизированном (б) бетоне



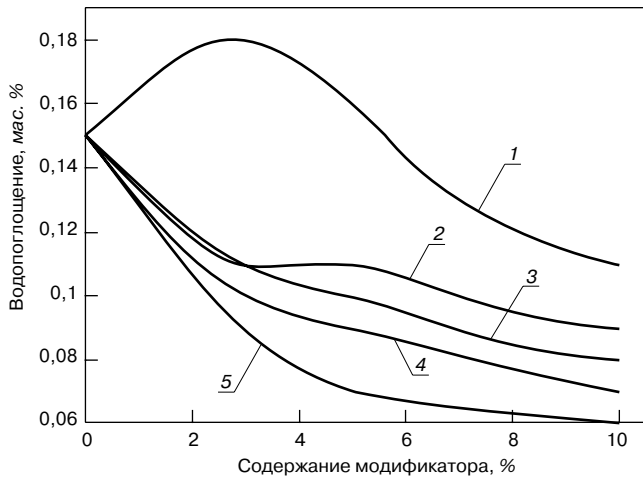


Рис. 2. Изменение водопоглощения покрытия из ПУ в зависимости от содержания модификатора ТЭОС: 1 – 0%; 2 – 3%; 3 – 5%; 4 – 7%; 5 – 10%

Введение в ПУ композиции ТЭОС улучшает внешний вид покрытия, снижая его пористость и снимая эффект шагреновой кожи.

На поверхности покрытия на основе модифицированной композиции в меньшем количестве присутствуют виды технологического брака (кратеры, шагрень), возникающие при неправильном составлении композиции или ее нанесении [2]. ТЭОС действует как добавка, изменяющая поверхностное натяжение покрытия в момент нанесения, устраняя технологический брак.

Термостойкость – важный показатель, который определяет критическую рабочую температуру любого материала, при которой начинается термическая или термоокислительная деструкция и полимер разрушается до образования низкомолекулярных соединений, полностью теряя геометрическую форму и свои физико-механические характеристики [3].

Процессы, происходящие в полимерах при нагревании в присутствии кислорода, называются термоокислительной деструкцией. В ходе этих процессов определяется термостойкость полимера. Эти свойства покрытия зависят от химической природы и строения полимеров, используемых в качестве пленкообразующих веществ, видов пигментов и наполнителей, входящих в лакокрасочную композицию и оказывающих существенное влияние на свойства покрытий, а также зависят от технологии нанесения покрытия и качества предварительной подготовки поверхности.

В процессе деструкции химические связи могут разрываться либо в любом месте макромолекулы (по закону случая), либо по определенным участкам полимера, например в случае концевых гидроксильных групп [4], которые ПУ имеет в своей структуре. При рассмотрении всего покрытия необходимо помнить, что это – трехмерно сшитая структура, при нагревании которой произойдет разрушение не отдельной макромолекулы, а всей сетки. Температура деструкции ПУ при обычных условиях 140°C.

По сравнению с ПУ кислородосодержащие кремнийорганические соединения отличаются высокой прочностью, разрушаются с трудом. Основной их структурной единицей в цепи является органосилоксановая группа, состоящая из атомов кремния, кислорода и органических радикалов, связанных с атомами кремния. Термическая стойкость органосилоксанов обусловлена высокой энергией связи между атомами кремния и кислорода, достигающей 370 кДж/моль, в то время как энергия связи между атомами углерода в макромолекулах обычных полимеров – 245 кДж/моль [5]. Для разрушения такой макромолекулы требуется значительно

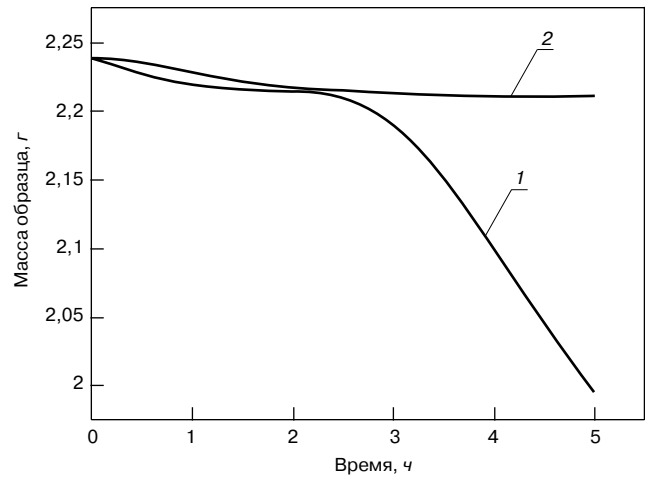


Рис. 3. Изменение термостойкости модифицированного и немодифицированного ПУ покрытия при 150°C: 1 – без ТЭОС; 2 – с ТЭОС, 10 мас. %

больше тепловой энергии, чем для разрушения других полимеров. Температура деструкции органосилоксановых соединений 200–600°C. Использование лакокрасочных покрытий на основе только кремнийорганических соединений достаточно дорогостоящее и не всегда удобно, так как требует специальной технологии сушки. Отверждение изучаемого покрытия происходит за счет влаги воздуха, для этого не требуется введения катализатора или создания особых условий.

Термостабильность модифицированного ТЭОС покрытия изучали при 150°C помещением в термощкаф образцов с таким покрытием. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

На полученном графике видно, что образцы покрытия, модифицированного ТЭОС, более устойчивы к изотермическому нагреву (потеря массы 1,34% от начальной массы образца после 5 ч прогрева), чем образцы немодифицированного покрытия (потеря 10,94% от начальной массы образца). Это связано с силиконовой пленкой, образующейся на поверхности ПУ покрытия и создающей термозащиту его сетчатой структуры. Сами же структурные единицы ТЭОС имеют высокую энергию связей и не подвергаются деструкции при столь низкой температуре.

Таким образом, модификация ПУ композиции и покрытия на ее основе ТЭОС играет исключительно положительную роль. Покрытие приобретает улучшенные физические и технологические свойства, упрощая процесс нанесения композиции на защищаемую поверхность, а также эксплуатацию оборудования.

**Ключевые слова:** полиуретан, тетраэтоксисилан, полимер, покрытие, алкоксисилан, предполимер.

#### Список литературы

1. Chukhlanov V. Yu., Kolysheva N. A. New polymer binders based on oligopiperylene styrene and alkoxy silanes. International Polymer Science and Technology, 2008. № 1. 35 p.
2. Комплексные меры защиты судовых конструкций от коррозии. РД 31.28.10-97. СПб.: АООТ «НПО ЦКТИ», 1997. 170 с.
3. Козлов Н. А. Физика полимеров. Владимир: ВлГУ, 2001. 344 с.
4. Берлин А. А., Шутов Ф. А. Пенополимеры на основе реакционноспособных олигомеров. М.: Химия, 1978. 296 с.
5. Харитонов Н. П., Островский В. В. Термическая и термоокислительная деструкция полиорганосилоксанов. Л.: Наука, 1982. 208 с.

В.А. ВОЙТОВИЧ, А.А. ЯВОРСКИЙ, кандидаты техн. наук,  
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

## **Реалии и перспективы силикатного кирпича**

В последние годы в некоторых региональных средствах массовой информации появились публикации, призывающие прекратить производство силикатного кирпича из-за его якобы непригодности для сооружения стен жилых зданий. Факт этот неприятен еще и тем, что в противовес силикатному кирпичу противопоставляется кирпич керамический.

Один из авторов критических статей заявляет, что «силикатный кирпич – холодный, потому что он, как промокашка впитывает влагу, а при повышенной влажности вообще разрушается», «...силикатный кирпич на фасаде – это не только удар по облику города, это вопрос долговечности, экологической и конструкционной безопасности жилых зданий».

*Анализ публикаций последних лет позволяет выделить следующие претензии их авторов к силикатному кирпичу:*

- высокая теплопроводность;
- высокая гигроскопичность;
- непригодность для создания архитектурно-выразительных фасадов;
- экологическая небезопасность.

Далее рассмотрим реальные свойства силикатного кирпича. В некоторых случаях сравним их со свойствами рядового или облицовочного керамического, так как делать сравнения в общем не представляется корректным.

Если рассмотреть первый довод, то действительно силикатный полнотелый кирпич на 10–12% плотней, чем полнотелый керамический. Настолько же в условиях нормальной относительной влажности воздуха (60–75%), к которой относится климатическая зона Приволжского федерального округ, а выше и его теплопроводность.

Однако в настоящее время для снижения теплопроводности и керамического и силикатного кирпича внутри него формируют пустоты. У рядового керамического кирпича пустоты только сквозные, в результате чего при возведении стены в них затекает значительное количество кладочного раствора, что повышает теплопроводность конструкции. В результате увеличения расхода раствора коэффициент теплопроводности кирпичной стены возрастает до 0,65–0,7 Вт/(м·°С), т. е. на 16–25% [1]. В кирпиче силикатном пустоты замкнутые, кладочного раствора в них попадает меньше, так что теплопроводность оказывается более низкой у стен из силикатного кирпича.

С точки зрения строителей наличие в кирпиче пустот усложняет процесс создания качественного шва лицевой кладки. При низком качестве работ и наличии в горизонтальных швах разрывов в стенах из кирпича со сквозными пустотами создаются условия для фильтрации холодного воздуха, что еще больше снижает теплотехническую эффективность ограждающей конструкции.

Если рассматривать современные теплотехнические требования к ограждающим конструкциям зданий (СНиП 23-02–2003), то их выполнение в случае применения как рядового керамического, так и силикатного кирпича достигается только в многослойных конструкциях с использованием эффективных теплоизоляционных материалов. Анализ отечественного опыта показывает, что за последние 15 лет во многих регионах России,

и в первую очередь в Москве и Московской области, произошли массовые разрушения облицовочного слоя трехслойных стен, выполненного из пустотелого керамического кирпича [2].

Основным фактором, определяющим разрушение кирпича облицовочного слоя, являются переменные температурно-влажностные воздействия в осенне-зимне-весенний периоды года. Наличие такой проблемы у керамического кирпича, изготовленного согласно ГОСТ 530 с толщиной стенки 12 мм от лицевой поверхности до пустот, признается самими производителями материала [3, 4].

Применение в трехслойных стенах силикатного кирпича решает проблему разрушения материала облицовочного слоя, но оставляет открытым вопрос безопасности многослойной конструкции при ошибках проектирования количества гибких связей и других узлов или низком качестве выполнения работ.

По второму из сравнительных критериев следует констатировать, что силикатный кирпич гигроскопичнее керамического, вследствие чего поглощает влагу быстрее. Но это, во-первых, не означает, что поглощает больше, а во-вторых, он и отдает ее быстрее.

Важным фактором является особенность распределения влаги в этих материалах, а также ее испарение из них. В современном силикатном кирпиче влага оказывается в основном в микроскопических порах. В них, как известно, вода замерзает при более низкой температуре, чем в крупных пустотах, которые образуются в кирпиче керамическом, особенно если он произведен полусухим прессованием. Эта особенность приводит к тому, что в силикатном кирпиче, охладившемся до определенной отрицательной температуры, вода может еще не замерзнуть, а в керамическом – уже превратится в лед.

По сравнению с керамическим кирпичом силикатный действительно отличается пониженной водостойкостью. Однако эта проблема в настоящее время успешно решается применением кремнийорганических гидрофобизаторов, придающих материалу водоотталкивающие свойства при сохранении его газо- и паропропускаемости [5]. Экономическая эффективность гидрофобизации определяется невысокой стоимостью и низким расходом продуктов при обеспечении сохранения первоначального внешнего вида, снижения теплопотерь и надежной защиты материала от увлажнения.

В настоящее время выпуск силикатного кирпича с гидрофобным слоем освоили ООО «Силикатстрой» Нижегородской области, ОАО «Павловский завод» Ленинградской области, ОАО «Ярославский завод силикатного кирпича», ОАО «Глубокинский кирпичный завод» Ростовской области и др.

Внешний вид силикатного кирпича за последнее время радикально изменился. Если ранее силикатный кирпич имел традиционно белый цвет, который в процессе эксплуатации зданий менялся на грязно-серый, то в настоящее время найдены стойкие пигменты и разработаны способы объемного окрашивания в красивые цвета (коричневый, розовый, желтый, серый, зеленый, оранжевый, красный). Такое окрашивание обеспечивает его абсолютную цветовую надежность:



мелкие щербины и даже сколы, которых невозможно избежать при возведении стены, не портят внешнего вида постройки.

Разработан способ получения из кирпича объемно-крашенного кирпича колотого, рельефного. Эти виды кирпича предназначены для формирования «лица» стены, поэтому и получили названия лицевых. Как видно из иллюстраций, стены, отделанные таким кирпичом, не только не «удар по внешнему виду города», но его достойное украшение. Даже конструктивно невзрачный фасад, сооруженный из цветного и фактурного кирпича, становится выразительным.

С экологической точки зрения силикатный кирпич ничем не уступает керамическому. Во-первых, удельная эффективная активность естественных радионуклидов в нем ниже, чем в керамическом [6]. Во-вторых, производство силикатного кирпича отличается малой энергоемкостью.

Производство силикатного кирпича требует не дефицитных материалов: силикатного песка и извести. Месторождения кварцевого песка в большинстве регионов располагаются рядом с заводами. Получение второго компонента — негашеной извести требует высокотемпературного обжига известняка. Однако расход этого материала для получения силикатного кирпича всего 7–9%, а обжиг происходит при температуре 900–950°C.

Дальнейшее повышение энергоэффективности производства извести, а следовательно, и его экологичности возможно при использовании современного технологического оборудования.



За рубежом разработан прогрессивный способ — скоростной обжиг в циклонных и вихревых печах. Этот обжиг протекает в течение нескольких секунд при значительно более низком расходе топлива, пассивный оксид кальция практически не образуется. Сырьем является известняк размером около 2 мм. Переход на данную технологию позволит российским заводам запустить в производство известняк мелких фракций, а также использовать для получения извести доломитизированный известняк с содержанием карбоната магния более 8%.

Более того, переход на новую технологию позволит применять для получения извести и доломитовое сырье, столь распространенное на территории нашей страны. Конструкция одной из разновидностей печи для скоростного обжига разработана в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете [7].

Дополнительно повысить энергоэффективность производства и интенсифицировать процесс обжига известняка возможно предварительным орошением его перед загрузкой в печь 1% водным раствором хлорида кальция. Термическая диссоциация такого известняка полностью происходит при температуре не выше 900°C и завершается в течение 80–120 мин.

Хлорид кальция, так называемая тупиковая соль, образуется как отход в громадных количествах в ряде химических процессов. Способов использования этого отхода в настоящее время нет, и он сливается в природные водоемы, засоляя их. Практическая реализация данного не используемого на настоящее время технологического



решения будет способствовать и решению экологических задач.

Близка к промышленной реализации и технология, позволяющая производить превращение известняка в негашеную известь во время помолы за счет утилизации теплоты, выделяющейся в процессе измельчения. В результате будет достигнуто снижение энергетических затрат.

Частичная замена кварцевого песка на аморфный кремнезем, у которого значительно более высокая активность, чем у кристаллического кварца, позволяет ускорить химическую реакцию образования гидросиликатов кальция — цементирующей основы силикатного кирпича.

Технологическое перевооружение российских заводов приобретает в связи с вступлением России в ВТО первостепенное значение для повышения их конкурентоспособности, по критериям энергоемкости и стоимости выпускаемой продукции.

Необходима систематическая работа по изучению передового опыта и тенденций развития силикатных материалов за рубежом, где объемы их применения постоянно увеличиваются [8]. Совместные действия производителей силикатной продукции координирует созданная в 1989 г. Европейская ассоциация силикатной промышленности, основателями которой были представители Бельгии, ФРГ, Великобритании и Нидерландов. В дальнейшем в ее ряды вступили производители Финляндии, Израиля, Швеции и Швейцарии.


В России для консолидации действий отечественных производителей в 2010 г. создана Ассоциация производителей силикатных изделий, председателем правления которой избран Почетный строитель РФ директор ООО «Силикатстрой» Нижегородской области Н.В. Сомов.

Современная ориентация жилищного строительства на малоэтажные здания, безусловно, потребует увеличения объемов применения штучных каменных материалов, основную массу которых представляют керамический и силикатный кирпич. По этой причине потребуются дальнейшее планомерное увеличение объемов вы-

пуска этих искусственных материалов, дальнейшая координация совместных действий ученых, производителей, проектировщиков и строителей для совершенствования качества материала, технологии его изготовления, разработки прогрессивных конструктивных решений и передовых методов производства каменных работ, профессионального мониторинга возведенных зданий и сооружений. в процессе их эксплуатации.

**Список литературы**

1. Лобов О.И., Ананьев А.И., Ананьев А.А. Энергоэффективность, долговечность и безопасность наружных стен зданий из керамических материалов // Строительные материалы. 2010. №4. С. 10–14.
2. Ишук М.К. Проблемы норм по проектированию каменных конструкций // Строительные материалы. 2010. № 4. С. 9–10.
3. Ворончихин А.Н. Керамический кирпич — лучший облицовочный материал // Промышленное и гражданское строительство. 2005. №7. С. 28–29.
4. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции // Строительные материалы. 2008. № 4. С. 56–59.
5. Шилова М.В. Силиконовые продукты для защиты силикатных материалов от атмосферных воздействий // Строительные материалы. 2010. С. 39–40.
6. Лукутцова Н.П. Естественные радионуклиды в строительных материалах // Строительные материалы. 2002. № 1. С. 20–21.
7. Беляков В.В., Беляков А.В., Шахтарина Л.В., Богатырева Н.С. Установа для обжига материалов. Патент РФ ПМ № 87507 от 10.10.2009.
8. Шелер Р., Фёрстер В., Пирогов П.П. Типоразмеры силикатного кирпича и блоков. Основные требования. Применение кирпича в России в настоящее время // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 44–46.



**В.И. Корнеев, П.В. Зозуля**  
**СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ**  
**СОСТАВ, СВОЙСТВА**  
 М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2010. 320 С.

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

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

Стоимость одного экземпляра 800 р. без учета доставки

По вопросам приобретения книги обращаться по тел./факсу: (495) 976-22-08, 976-20-36  
 E-mail: mail@rifsm.ru



**А.В. Ушеров-Маршак**  
**БЕТОНОВЕДЕНИЕ**  
**ЛЕКСИКОН**  
 М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2009. 112 с.

Издание подготовлено в виде толкового словаря, ориентированного на формирование понятийно-терминологического аппарата бетоноведения — одной из динамично развивающихся, сложных и специфических областей материаловедения. Учеными тенденциями международной интеграции науки о бетоне и его технологии.

«Бетоноведение: лексикон» содержит более 650 терминов и понятий, 150 аббревиатур международно признанных словосочетаний, наиболее часто употребляемых в профессиональной научно-технической литературе и нормативных документах. Особенность издания состоит в насыщенности информацией физико- и коллоидно-химического характера в связи с возрастающей ролью этих знаний при обосновании составов, структур, свойств, технологических процессов получения и службы бетона.

Издание рассчитано на широкий круг представителей науки, образования, в том числе учащихся вузов и колледжей, практики строительной сферы.

**Цена 1 экз. без почтовых услуг 250 р., НДС не облагается**

**Книгу можно заказать с сайта издательства**  
**www.rifsm.ru**  
**Тел./факс: (499) 976-20-36, 976-22-08**  
**e-mail: mail@rifsm.ru**

**ПОЛИПЛАСТ®**

ИДЕЯ. КАЧЕСТВО. МАТЕРИЯ

В лучших

**В лучших  
бетонах России**

Химические добавки для строительной отрасли

бетонах  
России**ООО "Полипласт Новомосковск"**

301653, Тульская обл., г. Новомосковск,  
ул. Комсомольское шоссе, д. 72  
Тел./факс (48762) 2-11-04, 2-11-40  
e-mail: sekretar@polyplast-nm.ru

**ООО "Полипласт-УралСиб"**

623104, Свердловская обл.,  
г. Первоуральск, ул. Заводская, д. 3  
Тел./факс (3439) 27-35-00, 27-35-03, 27-35-06  
e-mail: info@ppus.org

**ООО "Полипласт Северо-запад"**

188480, Ленинградская обл.,  
г. Кингисепп, промзона «Фосфорит»  
Тел./факс(81375) 2-69-98, 9-61-00, 9-61-01  
e-mail: sekretar@polyplast-nw.ru



УДК 66.074.6

Ю.В. КРАСОВИЦКИЙ, д-р техн. наук; С.Ю. ПАНОВ, канд. техн. наук;  
Е.В. РОМАНЮК, канд. техн. наук; Е.В. АРХАНГЕЛЬСКАЯ канд. техн. наук,  
З.С. ГАСАНОВ, инженер (scercso@mail.ru),  
ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная технологическая академия»

## Коагуляция частиц дисперсной фазы в пылегазовых потоках при производстве строительных материалов\*

Взвешенные в пылегазовом потоке частицы при определенных условиях слипаются, и происходит процесс их укрупнения. Образовавшиеся крупные агрегаты легче осаждаются в пылеуловителях, чем первичные частицы, что имеет первостепенное значение для повышения эффективности аппаратов. Коагуляция происходит в результате броуновского движения (тепловая коагуляция), а также под действием гидродинамических, гравитационных, акустических, электрических, диффузио- и термофоретических и других сил. Как известно, скорость коагуляции описывается уравнением:

$$1/n - 1/n_0 = K_K \tau, \quad (1)$$

где  $n$  – концентрация частиц в некоторый момент времени  $\tau$ ,  $1/\text{м}^3$ ;  $n_0$  – начальная концентрация частиц в  $1/\text{м}^3$ ;  $K_K$  – константа коагуляции,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Тогда скорость убывания счетной концентрации частиц в результате коагуляции можно определить из выражения:

$$N = -dn/d\tau = -K_K n^2, \quad (2)$$

где  $N$  – скорость коагуляции (величина, соответствующая числу встреч частиц в единице объема в единицу времени),  $1/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ .

Согласно выражению (2) в начальный момент времени, когда счетная концентрация частиц велика, коагуляция протекает с большой скоростью, но затем скорость ее быстро падает.

Скорость коагуляции полидисперсных аэрозолей на 10–15% превышает скорость коагуляции монодисперсных частиц.

Скорость тепловой коагуляции определяют по формуле:

$$N_{\text{бр}} = 8\pi D n_0^2, \quad (3)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии частиц,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Скорость тепловой коагуляции растет с увеличением абсолютной температуры газов  $T_r$ . Но поскольку вязкость газов также растет с повышением температуры,  $N_{\text{бр}}$  будет увеличиваться не прямо пропорционально  $T_r$ . Скорость коагуляции малых частиц возрастает с понижением давления.

Тепловая коагуляция играет существенную роль в начальный момент образования аэрозоля, так как способствует практически мгновенному укрупнению частиц. Именно в результате этой коагуляции дисперсный состав пыли в технологических газах, поступающих на газоочистку, практически всегда характеризуется большей крупностью частиц, чем в момент их образования.

Важную роль в процессе укрупнения частиц играет градиентная коагуляция, возникающая при поперечном градиенте скорости газов в потоке. Скорость градиентной коагуляции определяют по формуле [1]:

$$N_{\text{гр}} = \frac{32}{3} n_0^2 \Gamma d_c^3, \quad (4)$$

где  $\Gamma$  – градиент скорости,  $1/\text{с}$ .

Градиентная коагуляция весьма интенсивна в пристенном слое при турбулентном движении, и скорость ее резко возрастает с увеличением размера частиц  $d_c$ . Градиентная коагуляция ограничена тонким пристенным слоем и существенна при длинных газододах.

При турбулентном течении пылегазового потока имеют место два механизма коагуляции. Первый механизм наблюдается при плотности частиц, близкой к плотности потока. При этом частицы полностью увлекаются турбулентными пульсациями. Если плотность частиц пыли превышает в тысячу раз плотность газа, то отмечается второй механизм – механизм ускорения, при котором скорости, приобретаемые частицами, зависят от их массы. Различие в скоростях движения частиц обуславливает их встречи, сопровождающиеся коагуляцией.

Скорость турбулентной коагуляции по первому механизму определяют из выражения:

$$N_m \approx 1,3 \sqrt{\frac{\varepsilon_m}{V_r}} d_c^2 n_0^2, \quad (5)$$

где  $V_r$  – кинематическая вязкость газа,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\varepsilon_m$  – величина, характеризующая турбулентный поток,  $\text{м}^2/\text{с}^3$ :

$$\varepsilon_m \approx w_r^3 / l, \quad (6)$$

где  $l$  – линейный параметр (для трубы  $l$  равен ее диаметру  $d_{\text{тр}}$ ),  $\text{м}$ ;  $w_r$  – линейная скорость потока,  $\text{м}/\text{с}$ .

Скорость турбулентной коагуляции по второму механизму (механизму ускорения) определяют по формуле [1, 3, 4]:

$$N_{\text{уск}} = \pi \frac{\rho_c}{\rho_r} n_0^2 \frac{\varepsilon_m^{3/4}}{v_r^{5/4}} \beta d_c^4, \quad (7)$$

где  $\rho_c$  – плотность частиц,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\beta$  – коэффициент, характеризующий распределение частиц по размерам.

Турбулентное движение сильнее искажает линии тока мелких частиц аэрозоля, движущихся мимо более крупной частицы, чем инерционные силы. Поэтому в случае турбулентной коагуляции каждое столкновение, рассчитанное на основе прямолинейных траекторий, приводит к коагуляции.

Гидродинамические факторы обуславливают и кинематическую коагуляцию, протекающую при относительном движении частиц различного размера. Такое движение возникает под воздействием внешних сил и происходит при разных скоростях.

Теория кинематической коагуляции различна для крупных и мелких частиц, причем в первом случае можно пренебречь диффузией частиц. Если рассматривать процесс при свободном падении со скоростью крупной шарообразной частицы (капли) через аэрозоль, состоящий из мелких частиц, скорость падения которых незначительна, то число мелких частиц, захваченных в 1 с крупной частицей (каплей), можно определить по формуле [4]:

$$I_c = n \frac{\pi}{4} \eta_3 d_k^2 w_c, \quad (8)$$

где  $I_c$  – число захваченных частиц,  $1/\text{с}$ ;  $\eta_3$  – коэффициент захвата частиц;  $d_k$  – диаметр капли,  $\text{м}$ ;  $w_c$  – ско-

\* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы».



рость свободного падения крупной шарообразной частицы, м/с.

В этом случае коэффициент захвата можно рассматривать как эффективность осаждения за счет инерционных сил.

На кинематической коагуляции основано осаждение частиц распыленной водой в мокрых пылеуловителях [3]. При этом капли либо движутся через аэрозоль под действием только силы тяжести (полые форсуночные скрубберы), либо вводятся в аэрозоль со скоростью, превосходящей скорость их седиментации (скрубберы Вентури).

Особый интерес представляет акустическая коагуляция. При воздействии звуковых и ультразвуковых волн на промышленные газы, содержащие взвешенные частицы, можно при определенных условиях добиться такого колебательного движения частиц, при котором значительно увеличивается столкновение частиц друг с другом. В результате этого частицы слипаются, образуя крупные агрегаты, что значительно облегчает последующую очистку газов в газоочистных аппаратах.

Следует выделить три основных фактора, влияющих на коагуляцию при наложении акустического поля: совместное колебание частиц и газовой среды, динамические силы между соседними частицами и давление акустической радиации.

Зависимость между начальной и конечной концентрациями взвешенных частиц при их совместных колебаниях в колеблющейся среде имеет вид [1]:

$$n = n_0 \exp[-4n_{6ч}w_{6ч}x_{ч}(R+r)\tau], \quad (9)$$

где  $n_0$  – начальная концентрация мелких частиц,  $1/м^3$ ;  $n$  – конечная концентрация мелких частиц,  $1/м^3$ ;  $n_{6ч}$  – концентрация больших частиц,  $1/м^3$ ;  $w_{6ч}$  – средняя скорость больших частиц, м/с;  $R, r$  – радиусы соответственно больших и мелких частиц, м;  $\tau$  – время, с;  $x_{ч}$  – амплитуда колебания частицы, м.

При оценке гидродинамических сил притяжения и отталкивания  $F_p, n$  используют зависимость [2]:

$$F_r = \frac{3}{128} \pi \rho_{г} d_{ч1} d_{ч2} \frac{(u_r - w_{ч})^2}{r^4}, \quad (10)$$

где  $d_{ч1}, d_{ч2}$  – диаметры соседних частиц, м;  $u_r, w$  – амплитуды скоростей частицы и среды;  $r$  – расстояние между частицами, м.

Максимальное значение силы  $F_p$ , возникающей в результате акустической радиации и действующей на шаровую частицу с диаметром  $d_{ч}$ , определяют по формуле [1]:

$$F_p = 5\pi^2 d_{ч}^2 \Theta / 12\lambda, \quad (11)$$

где  $\Theta$  – плотность энергии, Дж/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – длина звуковой волны, м.

Это уравнение применимо к сферическим частицам, диаметры которых малы по сравнению с длиной волны.

Устройство для акустической коагуляции состоит из генератора звуковых или ультразвуковых колебаний и агломерационной камеры.

В качестве генераторов акустических колебаний на промышленных установках применяют в основном излучатели механического типа – статические и динамические сирены, а также свистки. Наибольшее распространение получила сирена динамического типа, состоящая из ротора, статора, источника сжатого газа и электродвигателя. Избыточное давление сжатого газа, поступающего в сирену, составляет от 0,02 до 0,2 МПа (0,2–2 кгс/см<sup>2</sup>). Согласно литературным данным диапазон частот излучаемых колебаний у сирен равен 3–5 кГц. Уровень звукового давления колеблется в пределах 100–170 дБ.

Звуковую агломерационную камеру обычно выполняют в виде вертикальной полой башни круглого сечения. В верхней части башни устанавливают акустический

генератор, в нижней – бункер для сбора и вывода осаждающихся агломерированных частиц. По литературным данным, максимальная интенсивность акустического поля, ниже которой частицы не укрупняются, составляет 140–150 дБ. Диапазон оптимальных частот от 1 до 4 кГц.

Эффективность коагуляции зависит от концентрации и размеров взвешенных частиц, интенсивности и частоты звукового поля и продолжительности воздействия поля на аэрозоль.

В производстве стройматериалов пыли (песок, доломит, каолин и др.) несут обычно положительный заряд, получаемый при дроблении или распылении материала, трении либо контакте с поверхностью оборудования и коммуникаций, движении через раскаленную среду (зарядка ионами и в результате термоионной или фотоэлектрической эмиссии электронов. Этот естественный электрический заряд взвешенных частиц называют трибозарядом. В большинстве случаев неметаллические взвешенные частицы в естественных условиях заряжаются положительно, металлические частицы – отрицательно.

Максимальный заряд частицы, зависящий от ее величины, определяют по формуле [2]:

$$q_m = n'e = \pi\epsilon_0 \left(1 + 2\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) Ed_{ч}^2 = \pi\epsilon_0 \delta Ed_{ч}^2, \quad (12)$$

где  $e$  – величина заряда электрона, Кл ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ );  $\epsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость вещества;  $E$  – напряженность электрического поля в области нахождения частицы, В/м;  $\delta$  – показатель диэлектрических свойств частицы;  $n'$  – число элементарных зарядов.

Электрическая коагуляция взвешенных частиц основана на том, что между электрически заряженными частицами, а также между заряженными частицами и частицами, не имеющими электрического заряда, развиваются силы взаимодействия, под действием которых при определенных условиях частицы могут двигаться навстречу друг другу, сталкиваться и слипаться, образуя укрупненные агломераты.

Если взвешенные в газах частицы несут электрические заряды, то их электрическая коагуляция происходит самопроизвольно по пути движения газов в газопроводах и различных аппаратах. В таких случаях концентрация мелких частиц в газах уменьшается по мере удаления от технологического агрегата, что и указывает на агломерацию частиц.

Диффузионно- и термофоретические механизмы осаждения не являются собственно коагуляционными процессами и поэтому не рассматриваются. Однако они связаны с направленным движением частиц за счет градиентов концентрации или температур и способствуют повышению эффективности пылеулавливания.

**Ключевые слова:** коагуляция, звуковые волны, дисперсная фаза, аспирационные выбросы, энергосберегающее пылеулавливание.

#### Список литературы

1. Ужов В.Н., Вальдеберг А.Ю. Подготовка промышленных газов к очистке. М.: Химия, 1975. 216 с.
2. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 352 с.
3. Ужов Н.А., Вальденберг А.Ю. Очистка газов мокрыми фильтрами. М.: Химия, 1972. 248 с.
4. Горемыхин В.А., Красовицкий Ю.В., Панов С.Ю., Логинов А.В. Энергосберегающее пылеулавливание при производстве керамических пигментов по сухому способу. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2001. 296 с.

И.А. ГОРОШКОВ, менеджер отдела горной и карьерной техники ЦСТ «ТЕХНОПЛАЗА» (Москва)

## Самоходные дробильные комплексы Terex Finlay для производства нерудных материалов

Оборудование фирмы Terex Finlay хорошо известно в мире и пользуется заслуженным признанием среди специалистов-горняков благодаря высокому качеству и надежности. Оно работает на горных предприятиях всех континентов. Выпускаемое фирмой оборудование охватывает все процессы производства нерудных строительных материалов, начиная с приема горной массы от экскаватора или погрузчика до обезвоживания и формирования штабелей продукции.

Основатель фирмы Finlay Джон Финлей в 1958 г. организовал производство мобильных комплексов, первым в мире воплотив идею создания самоходного дробильно-сортировочного оборудования для промышленности нерудных строительных материалов. Смонтированные на гусеничном ходу агрегаты по мере продвижения забоя вслед за экскаватором легко перемещаются на новое место. Это позволяет сократить простой и увеличить время работы предприятия. Такое оборудование не требует дополнительных транспортных средств для передислокации. Агрегаты имеют дизельный привод, что обеспечивает им более высокую мобильность. Компания ориентируется на установку на агрегатах надежных двигателей компании «Катерпиллер».

Но этим преимущества, создаваемые самоходными комплексами, не исчерпываются. Известно, что процесс транспортировки горной массы от забоя до дробильно-сортировочного завода является самым дорогостоящим и трудоемким. При использовании самоходных комплексов этот процесс исключается, отпадает надобность в привлечении самосвалов.

По сравнению с традиционными стационарными дробильно-сортировочными заводами самоходные комплексы обладают такими достоинствами. Комплексам, состоящим из нескольких агрегатов и обеспечивающим выработку нескольких фракций продукции, фундаменты не требуются. Для их установки в карьере нужно только спланировать площадку уступа. По этой причине практически исключаются строительные работы и значительно (во много раз) сокращается период строительства предприятия. Поскольку оборудование имеет высокую степень заводской готовности, дробильно-сортировочные комплексы работают круглый год, не требуя укрытий. Комплекс может управляться из удаленного центра. Часто одним или двумя агрегатами управляет машинист экскаватора из своей кабины.

Комплексы фирмы Terex Finlay способны перерабатывать различные горные породы, от прочных изверженных до песчано-гравийно-валунных. Другая значительная сфера их применения – переработка строительного лома.

Следует отметить, что один комплект оборудования может обслуживать несколько предприятий. Мировая практика доказала рентабельность такой организации производства. Причем комплект оборудования, включающий несколько агрегатов, перемещается с одного объекта на другой несколько раз за год, поочередно перерабатывая и горные породы, и строительный лом.

Оборудование рассчитано на использование в различных климатических и природных условиях, работает в Якутии и Магадане. Для регионов с жарким климатом на агрегатах устанавливаются дополнительные радиаторы охлаждения.

Основное назначение дробильно-сортировочных комплексов – работа на предприятиях средней производительности (производительность самого мощного дробильного агрегата, оснащенного щековой дробилкой, достигает 750 т/ч). Однако комплексы успешно применяются на крупных ГОКах, когда возникает необходимость за короткий срок увеличить объем выпуска продукции или поступают заказы на производство дополнительных фракций щебня. Приобретение таких комплексов позволяет быстрее решить возникшие задачи и, что существенно, не требует реконструкции стационарного дробильно-сортировочного завода, дорогостоящей и занимающей много времени. Комплексы, выпускаемые фирмой Terex Finlay, незаменимы при ведении рассредоточенного и линейно-протяженного строительства, в частности при строительстве автомобильных дорог.

Состав комплекса выбирается исходя из конкретных условий. Комплекс может состоять из дробильных агрегатов крупного и мелкого дробления, сортировки и конвейеров-штабелюкладчиков. При разработке месторождений прочных изверженных пород в качестве агрегата первичного дробления отдают предпочтение щековой дробилке. При разработке карбонатных пород, как правило, малоабразивных, рекомендуется роторная. Если разрабатывается песчано-гравийное месторождение, не содержащее крупных валунов, можно исключить первичное дробление и ограничиться установкой агрегата с конусной дробилкой или одного грохотильного (сортировочного) агрегата. Поскольку для песчано-гравийных пород характерна засоренность глинистыми частицами и даже комками глины, часто возникает необходимость промывки продукции. В этом случае сортировочный агрегат снабжается брызгалками и системой эвакуации загрязненной воды – пульпы.

Оборудование фирмы рассчитывается для работы в сложных условиях, для переработки горной массы, содержащей слабые породы, посторонние включения. Поэтому приемная воронка оснащается вибропитателем-грохотом. Такое решение позволяет выделить из горной массы мелкие фракции, которые содержат максимальное количество некондиционных примесей, и тем самым не только увеличить производительность дробилки, но и улучшить качество продукции. Отделенная некондиционная масса боковым конвейером перемещается в штабель. Боковой конвейер выполнен поворотным в горизонтальной плоскости, что позволяет переводить его в транспортное положение, доведя габаритную ширину агрегата до 2,6–3,4 м (для разных типов). Если агрегаты предназначены для переработки отходов строительства, вторичного сырья, ленточные конвейеры, транспортирующие продукты дробления, оснащаются магнитными сепараторами для выделения стальной арматуры.



## Характеристики самоходных дробильных агрегатов фирмы Terex Finlay

Тип дробилки	Модель	Размер приемного отверстия, мм	Размер принимаемого куска, мм	Диаметр конуса, мм	Масса, т	Мощность двигателя, кВт
Щековая	J-750	750×500	400	–	25	129
Щековая	J-1160	1000×600	500	–	35	224
Щековая	J-1175	1070×762	600	–	50	261
Щековая	J-1480	1370×762	700	–	89	328
Роторная	I-110RS	1020×900	500	–	46	224
Роторная	I-110	1020×900	500	–	34	224
Роторная	I-130RS	1060×840	500	–	59	224
Роторная	I-130	1060×840	500	–	49	328
Конусная	C-1540RS	–	200	1000	46	328
Конусная	C-1540	–	200	1000	38	261
Конусная	C-1550RS	–	280	1300	75	328
Конусная	C-1550	–	280	1300	62	261

Успешную работу оборудования Terex Finlay иллюстрируют примеры. В Московской области для переработки песчано-гравийной смеси используется агрегат вторичного дробления С-1540 с конусной дробилкой и два грохота 694+RINSER. Производимая продукция – песок строительный и две фракции щебня из гравия 5–20 и 20–40 мм. Щебень из гравия фракции 3–20 мм почти не содержит частиц пластинчатой и игольчатой формы, то есть соответствует требованиям изменения № 3 ГОСТ 8267–93. Грохот 694+RINSER способен работать в режиме как без подачи воды, так и с промывкой. На дробильном агрегате С-1540 перед зевом дробилки производится отделение гравия размером менее 16 мм. Введение этой операции позволяет увеличить срок службы броши дробилки в два раза. У конкурентов такой опции нет.

Выпускаемое оборудование непрерывно совершенствуется, чему способствуют постоянные контакты конструкторов фирмы с предприятиями, на которых оно эксплуатируется.

В России компания «ТЕХНОПЛАЗА» – дилер оборудования TEREX FINLAY, имеет семь филиалов (в Санкт-Петербурге, Новосибирске, Екатеринбурге, Хабаровске, Краснодаре, Сочи, Самаре) и филиал в Киеве, а также 20 региональных представительств дилеров. При каждом филиале имеются склады запасных частей по технике TEREX FINLAY.

Специалисты дилерских центров всегда помогут в выборе оборудования для конкретных объектов в соответствии с горно-техническими условиями и финансовыми возможностями заказчика.

Реклама



ВЕЗДЕ ГДЕ НУЖНА ТЕХНИКА...



**Дробильное оборудование TEREX FINLAY – надежный выбор, проверенный временем!**

- Более 50 лет на рынке дробильно-сортировочного оборудования.
- Мощность мобильных комплексов от 50 до 800 тн/час по исходному продукту.
- Профессиональное решение для производства инертных материалов – на Вашем предприятии.
- Надежность оборудования, опыт эксплуатации в России на сверх твердых и абразивных породах.
- Широкая линейка производственной программы завода изготовителя.
- Низкие эксплуатационные расходы.
- Комплексная комплектация карьеров, включая землеройную технику и тех. транспорт на специальных условиях.
- Осуществления поддержки по модернизации предприятий.
- Предоставление рассрочки и лизинговое финансирование оборудования.
- Обучение персонала Вашей компании на базе нашего предприятия.
- Гарантийное и послегарантийное обслуживание
- Широкая дилерская сеть представительств и дилеров компании ТЕХНОПЛАЗА

Подробная информация на сайте [www.tehnoplaza.ru](http://www.tehnoplaza.ru)

Москва, Ярославское шоссе, 42  
Тел.: +7 (495) 925-0542 / Факс: +7 (499) 183-7056



**ТЕХНОПЛАЗА**  
ЦЕНТР СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ



УДК 666.972.53

Г.Д. ФЕДОРОВА, канд. техн. наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова; А.Т. ВИНУКОВ, заведующий лабораторией отдела СМиК ОАО «ЯкутПНИИС»; О.Н. КРАВЦОВА, канд. техн. наук, А.М. ТИМОФЕЕВ, д-р техн. наук, Институт физико-технических проблем Севера СО РАН (г. Якутск, Республика Саха (Якутия))

## Экспериментальное исследование прочности бетона с комплексной добавкой

Развитие новых технологий бетонирования при отрицательной температуре связано с использованием противоморозных добавок. Неоднозначное влияние противоморозных добавок на свойства бетона обуславливает поиск их оптимальных концентраций и изучение закономерностей формирования свойств таких бетонов.

В настоящее время для изготовления монолитных бетонных и железобетонных конструкций в зимнее время якутскими строителями применяются бетоны с комплексными добавками НН (нитрит натрия) + С-3 и НН+ПФМ-НЛК (добавка, обеспечивающая воздухововлекающее и пластифицирующее действие). При этом НН+ПФМ-НЛК, как правило, обеспечивает более высокие показатели морозостойкости бетона. Однако в настоящее время еще нет экспериментальных данных о влиянии комплексной добавки НН+ПФМ-НЛК на критическую прочность бетона. Вышеуказанные экспериментальные данные необходимы для установления оптимальной дозировки противоморозного компонента добавки, для расчета технологических параметров разогрева, обогрева, прогрева и остывания бетона, а также для прогнозирования температурного режима выдерживания бетона конструкции в опалубке.

В работе концентрация противоморозной добавки НН бралась 2, 4 и 8% от массы цемента. Расход модификатора ПФМ-НЛК во всех составах принят равным 0,7% от расхода цемента. В качестве контрольного состава принят состав бетона с добавкой 0,7% ПФМ-НЛК. Для сравнительных испытаний принят состав бетона с добавкой 4%НН+0,7%С-3, который также используется в Якутии.

Для определения прочности по ГОСТ 10180–90 изготавливались образцы-кубы 10×10×10 см. В первой партии образцы твердели в камере нормально-влажностного хранения. Прочность бетонов нормально-влажностного хранения определяли через 1, 3, 7 и 28 сут. Во второй партии образцы замораживались при температуре -20°С и -40°С в течение 24 ч в возрасте 1, 3, 7 и 28 сут, затем до 28 сут твердели в камере нормального твердения. По истечении этого срока определялась прочность этих образцов.

Для бетонов, твердеющих в нормально-влажностных условиях, наблюдается максимум значений прочности при концентрации противоморозного компонента 2% (рис. 1). Предыдущими исследованиями была установлена оптимальная концентрация НН, равная 4%, при которой наблюдался максимум значений плотности и минимум значений капиллярной пористости для бетонов, содержащих только НН [1]. По-видимому, смещение максимума происходит за счет введения модификатора ПФМ-НЛК. Повышение содержания НН замедляет темпы набора прочности на всех этапах его твердения. Введение НН в количестве 2 и 4% интенсифицирует твердение бетона на начальном этапе. В возрасте 7 сут все бетоны с комплексными добавками набирают практически 84–89% от  $R_{28}$ . При этом темпы твердения и конечная прочность бетонов за исключением бетона с комплексной добавкой 8%НН+0,7%ПФМ-НЛК практически одинаковы (рис. 1–2).

Результаты испытаний прочности бетонов, подвергнутых замораживанию при температуре -20°С и -40°С, приведены в таблице. Анализируя данные, следует отметить, что бетоны, подвергнутые замораживанию, практически набирают те же прочности, что и бетоны, твердеющие в нормально-влажностных условиях. Незначительный недостаток прочности наблюдается у бетонов, подвергнутых воздействию отрицательной температуры в возрасте 1 сут. При этом у бетона без НН недостаток прочности составил 12,7%. Это указывает на то, что бетоны с противоморозной добавкой (НН) менее уязвимы воздействию отрицательной температуры.

Прочности бетонов, подвергнутых однократному замораживанию при температуре -20°С и -40°С, выше, чем прочности бетонов, твердевших в нормально-влажностных условиях, за исключением состава бетона 4%НН+0,7%ПФМ-НЛК, замороженного в 28 сут возрасте. Подобные результаты были получены и ранее при изучении свойств бетона на местных заполнителях с комплексной добавкой НН+ОК [2]. Кроме того, данные о нейтральном или положительном влиянии однократного замораживания на величину прочности отмечали и другие авторы [3].

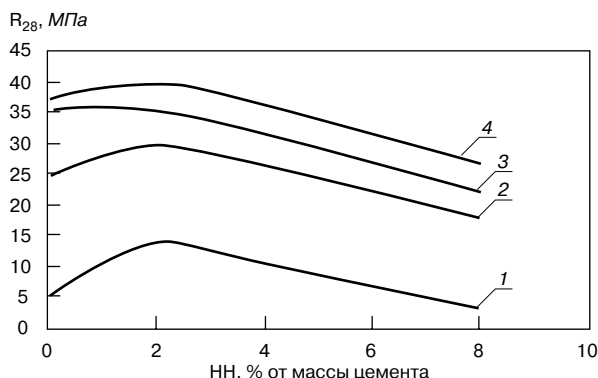


Рис. 1. Влияние концентрации противоморозной добавки на прочность бетона нормально-влажностного твердения с добавкой НН+0,7%ПФМ-НЛК: 1 – 1 сут; 2 – 3 сут; 3 – 7 сут; 4 – 28 сут

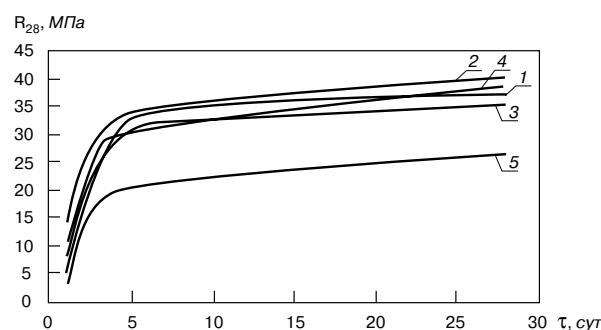


Рис. 2. Кинетика набора прочности бетона с комплексными добавками, твердеющего в нормально-влажностных условиях: 1 – 0,7%ПФМ-НЛК; 2 – 2%НН+0,7%ПФМ-НЛК; 3 – 4%НН+0,7%ПФМ-НЛК; 4 – 8%НН+0,7%ПФМ-НЛК; 5 – 4%НН+0,7%С3

Вид и расход добавок от массы цемента	Возраст бетона к моменту замораживания, сут	Прочность бетона на сжатие перед замораживанием, МПа/%R <sub>28</sub>	Прочность бетона на сжатие МПа/%R <sub>28</sub> при температуре замораживания, °С	
			-20	-40
0,7%ПФМ-НЛК	1	5,1/13,8	35,4/95,7	32,5/87,3
	3	24,5/66,2	36,4/98,4	36,9/99,7
	7	35,6/96,2	36,7/99,2	41,5/112,1
	28*	37,0/100	40,9/110,5	41,5/112,1
2%НН+0,7%ПФМ-НЛК	1	13,8/34,5	40,5/101,2	39,0/97,5
	3	29,7/74,2	42,2/105,5	39,7/99,2
	7	35,6/89	38,4/96,4	39,4/98,5
	28*	40,0/100	38,9/97,2	37,4/93
4%НН+0,7%ПФМ-НЛК	1	10,4/29	34,5/96,4	35,8/100
	3	26,3/73,5	37,1/103	34,9/97,5
	7	31,5/88	35,9/100,3	36,2/101,1
	28*	35,8/100	34,6/96,6	35,6/99,4
8%НН+0,7%ПФМ-НЛК	1	3,2/12	34,5/96,4	35,8/100
	3	17,9/67,3	37,1/103	34,9/97,5
	7	22,3/83,8	35,9/100,3	36,2/101,1
	28*	26,6/100	34,6/96,6	35,6/99,4
4%НН+0,7%С-3	1	11,4/29,8	37,4/97,9	36,9/96,6
	3	28,6/74,8	38,7/101,3	38,4/100,5
	7	32,3/84,5	37,6/98,4	40,4/105,7
	28*	38,2/100	40,9/107,1	41,5/108,6

**Примечание:** \* Образцы, подвергнутые замораживанию в 28 сут возрасте, испытаны через 4 ч оттаивания в помещении лаборатории.

Характер влияния водоредуцирующих добавок С-3 и ПФМ-НЛК на прочность бетона при одинаковом расходе цемента, В/Ц и электролита (4% НН) в целом имеет аналогичный характер. Небольшое снижение прочности при применении ПФМ-НЛК, по-видимому, можно объяснить воздухововлекающей способностью последнего.

Повышение концентрации противоморозного компонента (НН) комплексной добавки до 8% от массы цемента при одинаковых условиях снизило начальные темпы твердения бетона нормального твердения и его прочность в возрасте 28 сут (22,3 МПа) по сравнению с применением концентраций 4% и 2%, прочность которых соответственно составила 35,8 и 40 МПа. Для бетонов с комплексной добавкой 8%НН+0,7%ПФМ-НЛК, подвергнутых воздействию отрицательной температуры в возрасте 1, 3, 7 и 28 сут, в возрасте 28 сут прочность колеблется от 34,5 до 37 МПа, что на 60% выше прочности бетонов, не подвергнутых воздействию отрицательной температуры. В то же время их прочность практически одинакова с прочностью бетонов с добавками 2%НН+0,7%ПФМ-НЛК и 4%НН+0,7%ПФМ-НЛК, как подвергнутых замораживанию, так и твердевших в нормально-влажностных условиях. Все это указывает на то, что процесс формирования благоприятной структуры бетона, а следовательно, его долговечность зависят от многих факторов.

В ходе экспериментальных исследований также было изучено изменение фазового состава поровой влаги бетона в вышеуказанных условиях замораживания. При этом установлено, что существует оптимальное соотношение между концентрацией раствора электроли-

тов и сложившейся структурой бетона, способствующее меньшему льдообразованию при замораживании бетона ниже эвтектической температуры.

В условиях Севера, где в зимний период при бетонировании монолитных конструкций практически нельзя избежать замораживания бетона ниже эвтектической температуры, поиск концентраций электролитов является очень важным моментом при применении различных способов зимнего бетонирования. Наиболее эффективно применить комплексные добавки НН+ПФМ-НЛК и НН+С-3, причем оптимальный расход электролита НН не должен превышать 4% от массы цемента. Дальнейшее повышение расхода НН не улучшает физико-механические свойства бетона, а при неблагоприятных условиях может их ухудшить.

**Ключевые слова:** бетон, комплексная добавка, замораживание, отрицательная температура.

#### Список литературы

1. Крайцова О.Н., Старостин Е.Г., Степанов А.В., Тимофеев А.М. Влияние концентрации противоморозной добавки на поровую структуру бетона // Наука – производству. 2003. № 8. С. 30–31.
2. Федорова Г.Д. Бетоны и их свойства для монолитных конструкций, возводимых в районах Крайнего Севера. Автореферат дисс. на соиск. учен. ст. канд. техн. наук. М.: НИИЖБ, 1993. 25 с.
3. Миронов С.А. Фазовые превращения воды, гидратация и твердение цемента и бетона на морозе // Зимнее бетонирование и тепловая обработка. М.: Стройиздат, 1975. С. 26–58.

Международному информационно-аналитическому проекту  
**10 лет**

**ОРГАНИЗАТОР КОНФЕРЕНЦИИ**  
научно-технический и производственный журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®**



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

# КЕРАМТЕХ

**27–28 июня 2012 г.**  
**РОССИЯ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
Отель Sokos Olympia Garden



### Спонсоры конференции:



Кирпичное объединение «Победа ЛСР»



Рябовский завод керамических изделий

### ПОСЕЩЕНИЕ РЯБОВСКОГО ЗАВОДА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

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**

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

[mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru)

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



## Структурные зависимости морозостойкости ячеистого бетона

Увеличение объемов жилищного строительства требует разработки, создания и исследования высокоэффективных теплоизоляционных материалов. В современном строительстве разработаны и применяются различные варианты повышения теплозащитных свойств наружных стен строящихся и реконструируемых зданий. В частности, существует три способа утепления наружных стен — внутренняя и наружная теплоизоляция, а также применение стеновых конструкций, в которых теплоизоляция используется в качестве среднего слоя. Кроме того, для повышения энергоэффективности и комфортности жилых домов применяют однослойные конструкции из ячеистого газо- или пенобетона или полистиролбетона.

Высокой универсальностью по возможности применения для вновь строящихся и реконструируемых зданий, а также по технико-экономическим показателям являются вентилируемые фасадные системы с наружной теплоизоляцией, обеспечивающие эксплуатацию наружных стен в постоянном температурно-влажностном режиме. Повышенная проницаемость и соответственно комфортность жилых помещений в большей степени может быть обеспечена путем изготовления наружных стен из конструкционного или конструкционно-теплоизоляционного легкого бетона с использованием пористых заполнителей. При этом использование различных видов декоративных облицовочных плит и плиток (керамогранит, асбестоцемент, полимербетонные панели с отделкой натуральной каменной крошкой, цементно-волокнистые плиты и др.) улучшает архитектурную выразительность зданий и придает им требуемый цветовой колорит.

В последние годы при возведении ограждающих конструкций массовое применение получает полистиролбетон низких марок средней плотности (D150–D250) ввиду незначительной массы крупноразмерных блоков и относительно невысокой трудоемкости их монтажа. Однако применение полистиролбетона в жилищном строительстве в научном аспекте обосновано недостаточно. В частности, при использовании незначительной толщины штукатурного слоя для отделки наружной поверхности конструкции из полистиролбетона в жаркий период могут ускориться процессы старения гранул полистирола с их частичной сублимацией, что приводит к снижению его прочности и морозостойкости. В весенне-осенний период знакопеременные переходы температуры через нулевой уровень приведут к дополнительному снижению прочности полистиролбетона. Циклическое воздействие высоких и знакопеременных температур могут значительно снизить эксплуатационную надежность и даже привести к разрушению наружной поверхности и соответственно контактной зоны полистиролбетона с отделочным слоем. Поэтому при высокой этажности и значительных ветровых нагрузках сохранность целостности зданий с использованием ограждающих конструкций из полистиролбетона требует уточненного расчетно-экспериментального обоснования.

Негативным аспектом применения полистиролбетона в жилищном строительстве является и его потенциальная экологическая опасность, в том числе при пожаре. При использовании штукатурного слоя по металлической сетке для отделки поверхности стены внутри по-

мещения (наиболее распространенный вариант) в зимнее время при высокой температуре отопительных элементов может произойти деструкция поверхностного слоя гранул полистирола и диффузия стирола в жилые помещения, что при недостаточной вентиляции будет негативно влиять на здоровье проживающих в них людей. При пожаре продукты термического разложения также будут проникать в жилые помещения и поэтому экологическая безопасность жилых домов из полистиролбетона требует научного обоснования. Очевидно, что применение полистиролбетона в жилищном строительстве должно быть обосновано результатами лабораторных и натурных исследований с использованием циклических воздействий температуры и других факторов, и разработкой рекомендаций по оптимальным областям применения и условиям эксплуатации конструкций из полистиролбетона, обеспечивающим его долговечность, экологичность и пожаробезопасность. Поэтому массовое применение полистиролбетона в строительстве для устройства наружных стен в жилых зданиях является научно необоснованным и преждевременным.

Эффективными материалами для строящихся и реконструируемых зданий по условиям комфортности и экологической безопасности являются пустотелая с по-

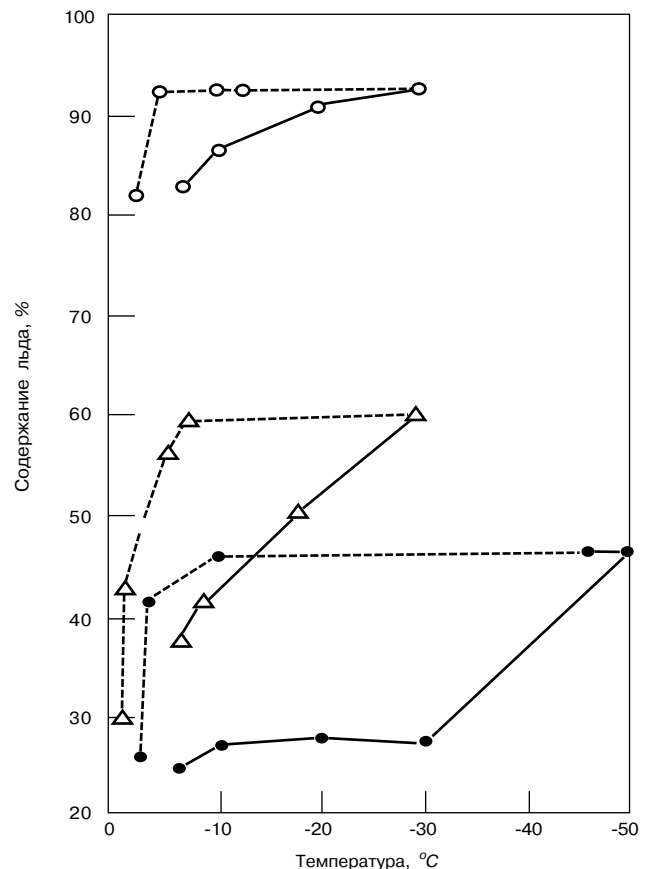


Рис. 1. Зависимость содержания льда в бетоне при замораживании и оттаивании от температуры: — замораживание; --- оттаивание;  $\Delta$  — газозолобетон;  $\circ$  — газосиликат;  $\bullet$  — цементный камень

ристой структурой керамика и ячеистый бетон марок D350–D400 прочностью 1,5–2,5 МПа. Наибольшее распространение для устройства ограждающих конструкций зданий получает автоклавный газобетон со средней плотностью 400–600 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 1,3–3 МПа и, в меньшей степени, пенобетон марок по средней плотности D500–D700 прочностью 2–4 МПа. Высокая плотность, недостаточная прочность, деформации усадки, качество поверхности пенобетона, особенно изготавливаемого в индивидуальных формах, сдерживает его производство и применение [1]. С другой стороны производство пенобетона требует меньших энергозатрат и более простой технологии. Пенобетон обладает более высокой морозостойкостью и поэтому является достаточно перспективным материалом для устройства ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Сдерживающим фактором применения изделий из ячеистого газобетона низкой плотности автоклавного твердения является его относительно низкая морозостойкость и соответственно долговечность.

Разрушение структуры бетона в условиях многократного переменного замораживания и оттаивания вызывается давлением на стенки пор и микротрещин, создаваемым льдом, образующимся при кристаллизации замерзающей воды, а также ввиду различия в коэффициентах температурного расширения его составляющих и их анизотропии.

Давление льда на стенки капилляра цилиндрической формы определяется методом, применяемым для расчета автоскрепленных цилиндров [3]:

$$P = \frac{t \cdot \Delta \alpha}{\frac{1 - \mu_1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \left( \frac{d_1^2 + d_2^2}{d_1^2 - d_2^2} + \mu_2 \right)}, \quad (1)$$

где  $P$  — давление, кгс/см<sup>2</sup>;  $t$  — температура нагрева, °С;  $\Delta$  — разность коэффициентов температурного расширения льда и материала, °С<sup>-1</sup>;  $d$  — внутренний диаметр капилляра;  $d_1$  — наружный диаметр капилляра;  $\mu_1, \mu_2$  — коэффициенты Пуассона соответственно льда и материала;  $E_1$  и  $E_2$  — соответственно модули упругости.

Например, для бетона класса по прочности В15(М200) давление льда на стенки капиллярных пор, определенное по формуле (1), составит:

$$P = \frac{t \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{\left[ \frac{1 - 0,35}{30000} + \frac{1}{29000} \left( \frac{2,41^2 + 1^2}{2,41^2 - 1^2} \right) \right]} = 1,48 \cdot t.$$

Из формулы (1) следует, что давление, создаваемое льдом в цилиндрическом капилляре, зависит от соотношения между толщиной стенки и его диаметром, а не от абсолютной величины диаметра капилляра и находится в интервале (0,1–0,2)· $t$ , МПа.

При этом максимальное значение температуры  $t$  в абсолютном значении равняется температуре замораживания. Такой вариант возможен в том случае, когда с момента повышения температуры в стенках капилляров появляются растягивающие тангенциальные напряжения, обусловленные давлением льда. Обычно давление льда сразу проявляется в условиях заполнения капилляра льдом при температуре замораживания. Увеличению объема и повышению давления льда на структуру бетона в этих условиях способствует градиент температуры и соответственно миграция влаги в зону его образования, определяющая продолжительность этого процесса. Очевидно, что это оказывает значительное влияние на морозостойкость и долговечность ограждающих конструкций зданий, особенно в весенний период после зимнего накопления влаги в бетоне.

Множитель  $t$  в формуле (1) значительно ниже температуры замораживания по следующим причинам.

Основной объем льда, образовавшийся при 0°С или близкой к нему температуре в макропорах, к моменту достижения температуры замораживания находится в напряженном состоянии вследствие совместной температурной деформации с плотными составляющими материала за период охлаждения.

В объеме льда появляются растягивающие напряжения в радиальном и тангенциальном направлениях, в структуре материала одновременно возникают растягивающие радиальные напряжения и напряжения сжатия в тангенциальном направлении. С течением времени происходит частичная релаксация этих напряжений вследствие пластических свойств льда и, например, эластичности структуры цементного камня за счет содержания гелевой составляющей, имеющей аморфное строение.

Сохранившиеся после релаксации напряжения не дают возможности значимо проявиться температурному давлению льда при повышении температуры, так как происходит взаимная компенсация разных по знаку напряжений, возникших от совместных деформаций льда и составляющих материала при их охлаждении и нагревании.

Растягивающие тангенциальные напряжения в стенках капилляров, связанные с давлением льда, появятся только около 0°С ввиду того, что компенсация не будет полной из-за частичной релаксации напряжений, возникающих в процессе замораживания.

Кроме того, в микропорах размером меньше 10<sup>-5</sup> см имеются предпосылки к проявлению температурного давления льда в связи с особым процессом его образования, а именно вода переходит в лед при температуре ниже 0°С. Термодинамическую устойчивость температуры замораживания воды в микропорах описывает в этом случае формула Кельвина. Состояние равновесия между водой и льдом характеризуется равенством давлений водяного пара над ними. По формуле Кельвина равновесное давление пара над вогнутым мениском в микрокапиллярах снижается с уменьшением радиуса капилляра:

$$\ln \frac{p_p}{p_n} = \frac{2\sigma V}{rRT}, \quad (2)$$

где  $p_p, p_n$  — давление насыщенного пара над искривленной и плоской поверхностями;  $\sigma$  — поверхностное межфазное натяжение;  $r$  — радиус капилляра;  $V$  — молярный объем конденсированной фазы;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $T$  — абсолютная температура.

Исследования [3] показали, что по мере снижения температуры кривая давления пара над льдом пересекает кривые давления пара в микрокапиллярах с уменьшающимся радиусом, а определение содержания льда и дифференциальной пористости показало высокую корреляцию экспериментальных данных и теоретических прогнозов, полученных с помощью формулы Кельвина, о снижении температуры фазового перехода воды в лед при уменьшении размера пор. В частности, с помощью ртутной порометрии установлено, что в газосиликате наиболее развиты поры радиусом (3,5–4)·10<sup>-6</sup> см, а наибольший прирост содержания льда наблюдается в интервале температур от -6 до -10°С, который составляет 10–12%. Снижение радиуса микропор до 2,5·10<sup>-6</sup> см и менее, а также увеличение их количества в газозолобетоне приводят к приросту содержания льда на 1% на 1°С понижения температуры от -10°С до -35°С.

В гелевых порах портландцементного камня радиусом (1,5–4)·10<sup>-7</sup> см образование льда при снижении температуры происходит очень медленно и наблюдается в интервале от -40 до -50°С и ниже, а его переход в воду, при температуре 0°С. По данным большинства исследователей, фазовый переход воды в лед в гелевых порах происходит при температуре от -70 до -75°С. Поэтому перед тем как растаять, лед нагревается до -40 – -50°С, а создаваемое давление на стенки гелевых

пор может достигать значения 10–15 МПа. Очевидно, что даже если вода в гелевых порах перейдет в лед, то такое давление практически не представит опасности для плотных прочных бетонов.

Гистерезис содержания льда, образующийся при повышении его температуры, представляет, вероятно, наибольший уровень опасности для морозостойкости и долговечности ячеистого автоклавного газобетона, характеризующегося низкой прочностью, высокой степенью закристаллизованности структуры новообразований, например тоберморита –  $C_5S_6H_5$ , и практически отсутствием в их составе аморфной составляющей. Такая структура неэластична, и поэтому давление льда, обусловленное гистерезисом его содержания при повышении температуры, на отдельные сросшиеся между собой кристаллы будет сопровождаться возникновением кристаллизационного давления и внутренних напряжений. Релаксация напряжений может наблюдаться только за счет частичного разрушения структуры при возникновении в ней напряжений, превышающих ее прочность. Таким образом, газобетон марок по средней плотности D500 и особенно D400 и ниже с максимальной прочностью соответственно 2,5 и 1,6 МПа может разрушаться от давления, создаваемого за счет гистерезиса содержания льда в порах радиусом  $(2,5-4) \cdot 10^{-6}$  см при температуре  $-10 - -20^\circ\text{C}$  и повышении ее до  $0^\circ\text{C}$ . Такие температурные колебания возможны в дневное и ночное время даже в средней полосе России. Допускаемая температура замораживания повышается с уменьшением средней плотности, прочности и содержания влаги в автоклавном газобетоне.

В ячеистом бетоне неавтоклавного твердения, как правило, представляющего пенобетон с использованием в качестве вяжущего вещества порландцемента, содержится около 50–55% аморфной составляющей в виде гидросиликатных фаз различной основности. Эта составляющая при действии давления от гистерезиса содержания льда, образующего при понижении и повышении температуры бетона, обеспечит релаксацию напряжений за

счет диффузионного перемещения частиц геля и дислокаций и более равномерного распределения давлений в кристаллогидратном каркасе. Таким образом, будет наблюдаться повышение морозостойкости и долговечности бетона. При этом прочность газобетона автоклавного твердения и неавтоклавного пенобетона при замораживании, очевидно, увеличивается относительно прочности исходных означенных ячеистых бетонов до замораживания, так как они характеризуются более низкой энтропией. Поэтому максимальные деформации и соответственно напряжения в бетоне будут наблюдаться в момент начала таяния льда. Уменьшение энтропии бетона при фазовом переходе воды в лед происходит на величину:  $\Delta S = \delta Q/T = m\lambda/T$  (3), где  $-\delta Q = m\lambda$  – теплота изотермического фазового перехода воды в лед;  $m$  – масса воды, перешедшей в лед при теплоте фазового перехода  $\lambda$ .

Таким образом, морозостойкость наружных стеновых конструкций из автоклавного газобетона при определенных условиях может оказаться недостаточной и потребуются использование методов первичной и вторичной защиты повышения их долговечности (ГОСТ 31384–2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии»).

#### Список литературы

1. *Величко Е.Г., Кальгин А.А., Комар А.Г., Нарыкова Т.П.* Повышение качества пенобетона многоуровневой оптимизацией его дисперсного состава // *Фундаментальные и приоритетные прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2008 году.* Сб. науч. тр. РААСН. Москва–Орел: РААСН, Орел ГТУ, 2010. Т. 1. С. 409–419.
2. *Телеснин Р.В.* Молекулярная физика. М.: Высшая школа, 1973. 360 с.
3. *Важенин Б.В.* Гистерезис льдистости и воздействие льда на стенки пор строительных материалов // Сб. науч. тр. «Строительные материалы и бетоны». Вып. 2. Челябинск, 1967. С. 88–94.



Министерство архитектуры и строительства РБ  
Союз строителей РБ, Институт НИИСМ, Институт БелНИИС  
журнал «Архитектура и строительство»  
НПООО «Стринко»

## VII Международная научно-практическая конференция ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

22–24 мая 2012 г. г. Брест и г. Малорита, Республика Беларусь

Программой конференции предусмотрено посещение современного  
комплекса предприятий СЗАО «КварцМелПром»

#### Оргкомитет:

Республика Беларусь, 220005, г. Минск, ул. Платонова, 22-705  
Тел./факс: (+375 17) 292 49 56, 292 79 43, 292 79 44; моб.: (+375 29) 611 66 20  
E-mail: bsr@telecom.by www.ais.by



Е.В. КОРОЛЕВ, д-р, техн. наук; А.С. ИНОЗЕМЦЕВ, инженер-испытатель, Научно-образовательный центра по направлению «Нанотехнологии», Московский государственный строительный университет

## Эффективность физических воздействий для диспергирования наноразмерных модификаторов\*

Современная нанотехнология строительного материаловедения основывается на введении в материал заранее синтезированных наноразмерных добавок различной природы. Для их распределения по объему материала часто применяют ультразвуковую обработку. Однако исследований, направленных на определение эффективности такой обработки, крайне мало. В частности, в работе [1] показано, что возникающие при ультразвуковом воздействии силы (силы Бьеркнеса, Бернулли и др.) должны приводить в основном к коагуляции дисперсных фаз, а диспергирование проявляется в некоторых локализованных объемах. В работе [2] для гомогенизации фуллеренсодержащих наномодификаторов предложено использовать нагрев среды-носителя до температуры 60°C; то же предложение теоретически высказано в [1], а дополнительное подтверждение возможности реализации указанного механизма представлено в [3]. Однако в научно-технической литературе практически отсутствуют экспериментальные данные по характеристикам дисперсных систем, содержащих наноразмерные модификаторы и гомогенизированных ультразвуковой обработкой. В частности, в [1] получены зависимости оптической плотности коллоидных растворов, содержащих астралены, от продолжительности ультразвуковой обработки. Анализ указанных зависимостей показывает, что изменение оптической плотности среды-носителя (раствор глицерина) выше изменения оптической плотности глицериновых растворов астраленов. Кроме того, по указанной величине затруднительно проводить оценку дисперсного состава.

Теоретически тепловое воздействие более эффективно [1], так как в дисперсной системе устанавливается седиментационно-диффузионное равновесие, которое с повышением температуры способствует не только диспергированию агрегатов, но и выравниванию концентрации частиц по объему. Однако экспериментальных данных, подтверждающих эффективность тепловой обработки, в научно-технической литературе также нет.

Известен критерий Шукина–Ребиндера [4], согласно которому для обеспечения самопроизвольного диспергирования поверхностное натяжение на границе раздела фаз не должно превышать величины:

$$\sigma_{12} \leq \gamma \frac{kT}{r^2},$$

где  $\sigma_{12}$  – поверхностное натяжение на границе жидкость – твердое тело;  $\gamma$  – константа ( $\gamma = 10-15$ );  $r$  – радиус частицы;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура.

Для  $r \in I(10; 1000)$  нм  $\sigma_{12} \in I(0,4; 4 \cdot 10^{-4})$  мН/м. Величина  $\sigma_{12}$  зависит от индивидуальных свойств контактирующих сред. Поверхностное натяжение среды  $\sigma_i$  можно представить моделью, имеющей вид плоскости, на

которой расположены нескомпенсированные связи с энергией  $u_{1,i}$  в количестве  $N_{s,i}$

$$\sigma_i = N_{s,i} u_{1,i}.$$

Для плоскостной модели

$$N_{s,i} = N_{o,i} / S_o = a_{o,i} \rho_i / m_{a,i} = a_{o,i} / V_{m,i};$$

$$u_{1,i} = U_{c,i} / N_a \eta_i,$$

где  $a_{o,i}$  – толщина молекулярного (атомного) слоя;  $V_{m,i}$  – молярный объем;  $U_{c,i}$  – энергия сублимации;  $\eta_i$  – координационное число;  $N_a$  – число Авогадро.

Отсюда:

$$\sigma_i = \frac{(U_{c,i} - RT) a_{o,i}}{\eta_i V_{m,i}}.$$

При форме поверхности в виде сферы

$$\sigma_i = \frac{(U_{c,i} - RT) a_{o,i}}{\eta_i V_{m,i}} \left[ D - \frac{(D - 2a_{o,i})^3}{D^2} \right].$$

При замене  $D = \kappa a_{o,i}$  получим:

$$\sigma_i = \frac{1}{3} \frac{(U_{c,i} - RT)}{\eta_i V_{m,i}} a_{o,i} \left[ 3 - 2 \frac{(\kappa - 2)}{\kappa^2} \right].$$

При  $\kappa \gg 2$  величина  $a_{o,i} \left[ 3 - 2 \frac{(\kappa - 2)}{\kappa^2} \right] \approx 3a_{o,i}$ ,

тогда поверхностное натяжение больших частиц сферической формы равно:

$$\sigma_{\infty,i} = \frac{(U_{c,i} - RT)}{\eta_i V_{m,i}} a_{o,i}.$$

При распространении представленных рассуждений на межфазную границу раздела следует, что формирование  $\sigma_{12}$  является процессом образования нового вещества, обладающего индивидуальными параметрами:  $U_c$ ,  $\eta$ ,  $V_m$  и  $a_o$ . Аналогичное заключение следует при записи закона Юнга в виде:

$$\gamma \frac{kT}{r^2} = \sigma_{23} - \sigma_{13} \cos \Theta,$$

где  $\sigma_{23}$  – поверхностное натяжение на границе твердое тело – газ;  $\sigma_{13}$  – то же, жидкость – газ;  $\Theta$  – краевой угол смачивания.

Учитывая малую величину  $\gamma kT / r^2$  очевидно, что при  $\Theta \rightarrow 180^\circ$  условие

$$\frac{\sigma_{23}}{\sigma_{13} \cos \Theta} \rightarrow 1$$

не выполняется, а при  $\Theta \rightarrow 0^\circ$  оно выполняется только при

$$\frac{\sigma_{23}}{\sigma_{13}} \rightarrow 1.$$

Указанное реализуется только при формировании на границе раздела фаз соединения, которое по свойствам

\*Печатается при поддержке гранта Президента РФ МД-6090.2012.8.

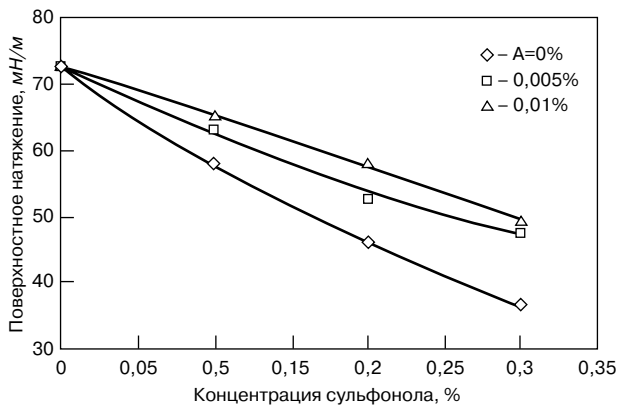


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации сульфанола и астраленов: «А» – астралены

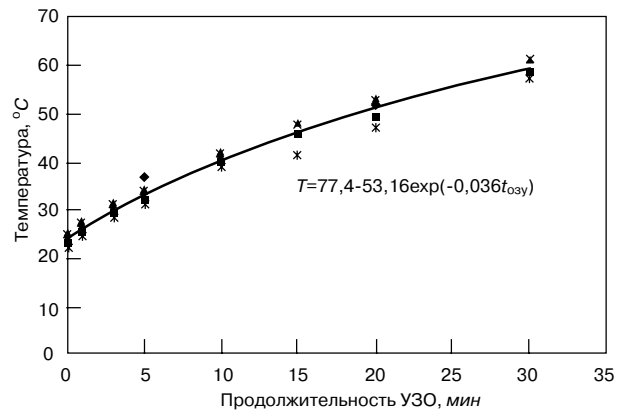


Рис. 2. Зависимость температуры раствора от продолжительности УЗО

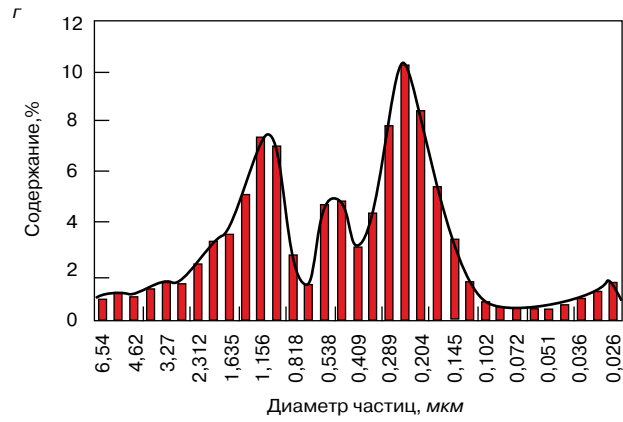
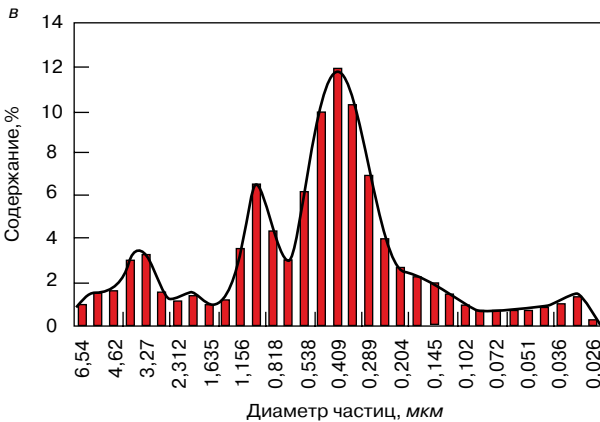
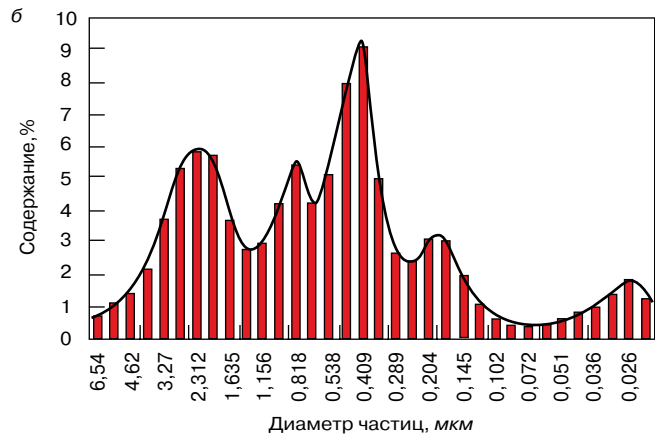
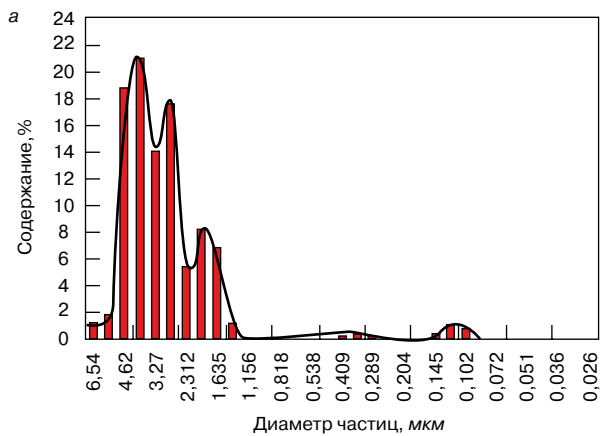


Рис. 3. Дисперсный состав астраленов (состав: астралены – 0,005%; сульфанола – 0,01%): а – исходный; б – продолжительность УЗО 3 мин; в – то же, 15 мин; г – то же, 30 мин

мало отличается от жидкой фазы, в частности по величине поверхностного натяжения.

Из представленных рассуждений следует, что самопроизвольное диспергирование, интенсифицируемое броуновским движением, возможно только при образовании на границе раздела фаз сольватного слоя дисперсионной среды (среды-носителя). Последнее реализуется только в лиофильных дисперсных системах.

Установление влияния ультразвуковой обработки (УЗО) на дисперсный состав проводили на водных системах, содержащих астралены [5] и сульфанола [6] – анионоактивное поверхностно-активное вещество, достаточно интенсивно адсорбирующееся на астраленах (рис. 1). Диспергирование проводили на установке Vibra-Cell VCX 750, обеспечивающей выходную мощность ультразвука 500 Вт. Дисперсный анализ проводи-

ли на лазерном анализаторе Zetatrac; диапазон определения размеров частиц от 0,8 нм до 6,5 мкм.

Очевидно, что при проведении ультразвуковой обработки на дисперсную систему воздействует как звуковое поле, так и тепловая энергия, образующаяся при поглощении ультразвука (рис. 2).

Анализ рис. 3 и 4 показывает, что интенсивно размер частиц изменяется в начальные 3 мин УЗО (при размере агрегатов более 1 мкм), причем с увеличением размера агрегатов астраленов (более 1,8 мкм) скорость диспергирования возрастает. В том же временном диапазоне УЗО наблюдается интенсивное увеличение содержания частиц с размером <100 нм. Дальнейшая обработка не приводит к существенному изменению среднего диаметра агрегатов астраленов (диаметр варьируется в диапазоне 0,4–0,6 мкм) и содержания частиц с размерами

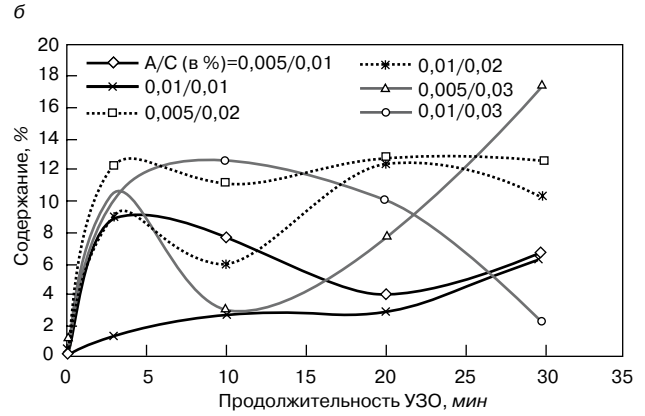
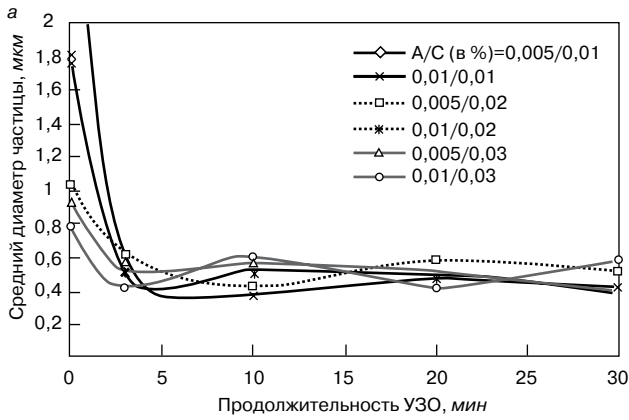


Рис. 4. Зависимость среднего размера частиц (а) и содержания частиц с размером частиц < 100 нм (б) от продолжительности УЗО (обозначения: «А» – астралены; «С» – сульфолон)

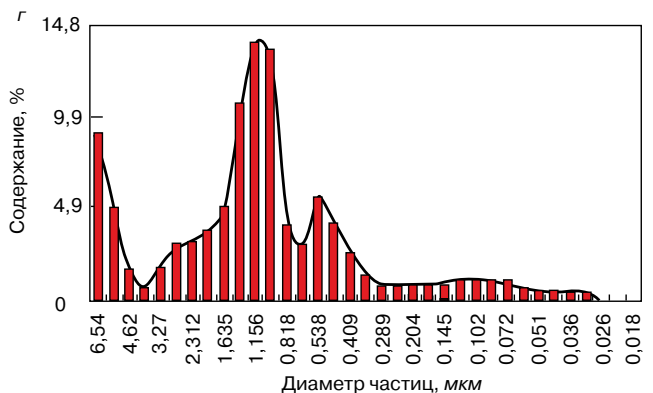
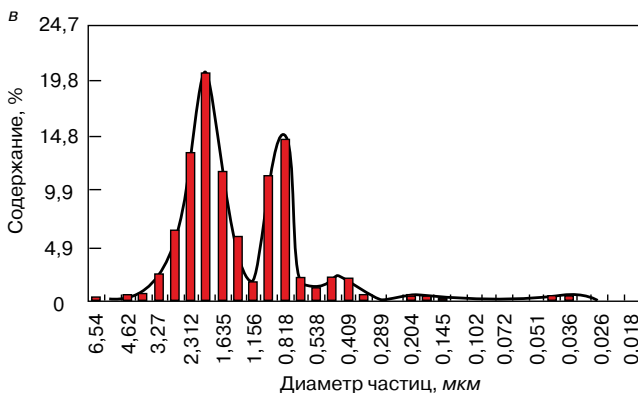
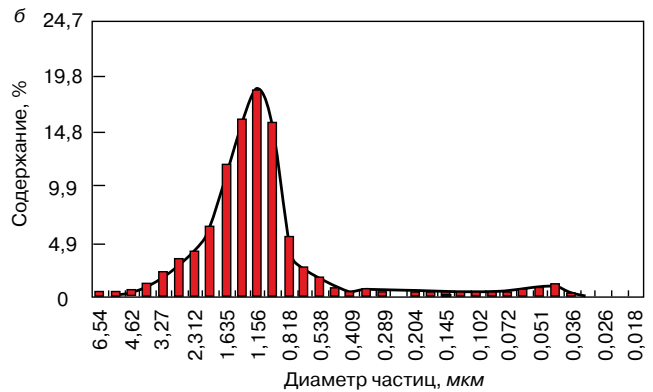
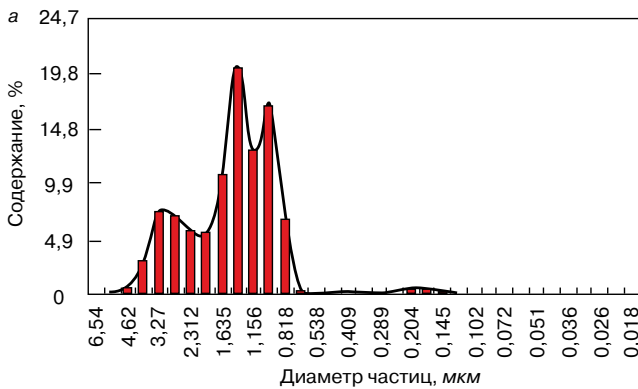


Рис. 5. Дисперсный состав астраленов (состав: астралены – 0,005%, сульфолон – 0,01%): а – T = 80°C; б – T = 60°C; в – T = 45°C; г – T = 30°C

<100 нм. Общее содержание частиц (агрегатов астраленов) с размерами <100 нм не превышает 15%. Необходимо отметить, что полученные кинетические зависимости имеют близкий к периодическому характер, что вполне согласуется с природой ультразвука: в объеме рабочего сосуда формируются локальные области с активным диспергированием и коагуляцией.

Влияние температурного фактора на дисперсный состав проводили посредством исследования проб, последовательно отобранных из охлаждающегося в естественных условиях раствора, подвергающегося постоянному перемешиванию (рис. 5).

Объяснить экспериментально установленные изменения дисперсного состава можно следующим образом. Из гипсометрического распределения Лапласа [7]

$$\frac{n_1}{n_2} = \exp\left(g \frac{(\rho_f - \rho_c) \pi}{kT} d^3 \Delta h\right)$$

(здесь  $n_1$  и  $n_2$  – количество частиц на высоте, соответственно  $h_1$  и  $h_2$ ;  $\Delta h = h_2 - h_1$ ;  $\rho_f$  – плотность материала частицы;  $\rho_c$  – плотность среды-носителя;  $d$  – диаметр частицы;  $g$  – ускорение свободного падения;  $T$  – температура;  $k$  – постоянная Больцмана) следует, что с увеличением диаметра частиц разность их количества  $\Delta n = n_1 - n_2$  возрастает:

$$\frac{d(n_1/n_2)}{d(d)} = \frac{\pi}{2} d^2 \Delta h \frac{g(\rho_f - \rho_c)}{kT} \exp\left(g \frac{(\rho_f - \rho_c) \pi}{kT} d^3 \Delta h\right),$$

а при увеличении температуры

$$\frac{d(n_1/n_2)}{d(T)} = -\frac{\pi}{6} d^3 \Delta h \frac{g(\rho_f - \rho_c)}{kT^2} \exp\left(g \frac{(\rho_f - \rho_c) \pi}{kT} d^3 \Delta h\right)$$

уменьшается.

Из теории Смолуховского [8]



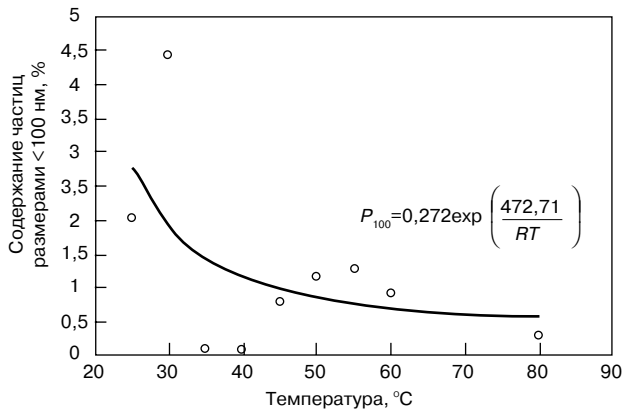


Рис. 6. Зависимость содержания фракции астраленов < 100 нм от температуры

$$\frac{n_x}{n_0} = 1 - \left(1 + \frac{8kT}{3\mu} n_0 t\right)^{-1}$$

где  $\mu$  – вязкость среды-носителя;  $n_0$  – общее количество частиц следует, что с увеличением температуры количество столкновений между частицами, приводимое к их коагуляции и к увеличению диаметра агрегатов, возрастает:

$$\frac{d(n_x/n_0)}{d(T)} = \frac{8k}{3\mu} n_0 t \left(1 + \frac{8kT}{3\mu} n_0 t\right)^{-2}$$

С учетом влияния температуры на адсорбцию ПАВ [9]

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \frac{d\sigma}{dc} \text{ (уравнение Гиббса)}$$

при повышенной температуре будет наблюдаться достаточно интенсивная коагуляция частиц, которая будет продолжаться (фактор времени в уравнении Смолуховского) с меньшей интенсивностью при понижении температуры (столкновение частиц будет наблюдаться, однако адсорбция ПАВ будет препятствовать образованию прочной коагуляционной связи). Адсорбция ПАВ (сульфонола), возрастающая при понижении температуры, способствует увеличению количества агрегатов астраленов с размерами < 100 нм (рис. 6).

Таким образом, из представленных экспериментальных данных следует:

1. Ультразвуковая обработка не обеспечивает диспергирования и гомогенизации наноразмерных модификаторов; наибольший эффект наблюдается на начальном этапе обработки (не более 3 мин), при этом средний диаметр агрегатов уменьшается до 0,4–0,6 мкм (кинетические зависимости имеют близкий к периодическому характер, что вполне согласуется с природой ультразвука), а общее содержание частиц (агрегатов астраленов) с размерами < 100 нм не превышает 15%. Снижение эффективности УЗО с увеличением ее продолжительности объясняется уменьшением адсорбции ПАВ с повышением температуры, вызываемым поглощением ультразвука.

2. При тепловой обработке наблюдается протекание конкурирующих процессов: диффузионного переноса частиц, стремящегося повысить однородность дисперсной системы, и процесса коагуляции, приводящего к укрупнению агрегатов частиц, а следовательно, интенсифицирующего их седиментацию. Причем при повышенных температурах коагуляция дополнительно усиливается уменьшением адсорбции ПАВ. При последующем снижении температуры коагуляция продолжается с меньшей интенсивностью вследствие влияния адсорбирующегося ПАВ и временного фактора. Адсорбция ПАВ незначительно позволяет увеличить количество агрегатов с размером < 100 нм (количество указанной фракции не превышает 5%).

3. Ультразвуковая обработка и тепловое диспергирование наноразмерных модификаторов эффективны только при использовании среды-носителя, лиофильной по отношению к модификатору.

**Ключевые слова:** наночастицы, астралены, сульфонол, диспергация.

Список литературы.

1. Королев Е.В., Кувшинова М.И. Параметры ультразвука для гомогенизации дисперсных систем с наноразмерными модификаторами // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 85–88.
2. Урханова Л.А., Буянтубев С.Л., Лхасаранов С.А., Кондратенко А.С. Бетоны на композиционных вяжущих с нанодисперсной фуллеренсодержащей добавкой // Нанотехнологии в строительстве. 2012. № 1. С. 39–45.
3. Чикова А.О. Самопроизвольное диспергирование в процессах сплавообразования как причина микрорасщепления металлических расплавов // Расплавы. 2008. № 9. С. 54–64.
4. Вережников В.Н. Избранные главы коллоидной химии. Ростов: РГУ, 2011. 237 с.
5. Пономарев А.Н., Никитин В.А., Рыбалко В.В. Исследование многослойных полиэдрических наночастиц фуллероидного типа – астраленов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2006. № 5. С. 44–47.
6. ТУ 2481-135-07510508–2007 «Сульфонол-порошок».
7. Гельфман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. Коллоидная химия: Учебник для вузов. М.: Издательство «Лань», 2008. 328 с.
8. Галкин В.А. Уравнение Смолуховского. М.: Физматлит, 2001. 336 с.
9. Белик В.В., Киенская К.И. Физическая и коллоидная химия. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 288 с.

**3 - 5 октября** **САРАТОВ** ДВОРЕЦ СПОРТА

13-я специализированная выставка с международным участием  
**СИТИСТРОЙЭКСПО. 2012**

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СПОНСОР: **Стройка ГРУППА ГАЗЕТ**

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ГАУ «Агентство энергосбережения» Саратовской области  
Саратовский государственный технический университет

Выставочный Центр «СОФИТ-ЭКСПО»  
тел.: (8452) 206-926  
http://expo.sofit.ru

А.В. САНДУЛЯК, д-р. техн. наук, Д.В. ОРЕШКИН, д-р. техн. наук,  
А.А. САНДУЛЯК, канд. техн. наук, Д.В. ЕРШОВ, инженер, В.А. ЕРШОВА, канд. техн. наук,  
Московский государственный строительный университет

## Результаты нелимитированного сканирующего магнитоконтроля ферропримесей кварцевого песка

### 1. Проблемы, связанные с контролем магнитоактивных примесей в сырье. Магнитоконтроль, базовые подходы к его реализации.

В число параметров, определяющих качество сырья, используемого в различных сферах стройиндустрии, в частности для производства изделий из стекла и керамики (кварцевый песок, полевой шпат, мел, доломит и пр.), входит содержание в нем железистых примесей (традиционно, как оксид железа  $Fe_2O_3$ )<sup>1</sup>. Содержание этих примесей строго нормируется и контролируется, преимущественно фотоколориметрией<sup>2</sup>.

С позиций вопроса объективности оценки результата работы магнитного сепаратора, ответственного за удаление магнитоактивной фракции этих примесей, этот контроль можно отнести к недостаточно информативным для целей магнитной сепарации [1].

Данный контроль, предусматривающий обязательный предварительный реагентный перевод железа, находящегося в самых различных по составу железистых примесях, в ионную форму, не только устраняет саму возможность выявления магнитоактивной фракции примесей, но и, по сути, вовсе не отражает присутствия именно «заявляемого» оксида<sup>3</sup>  $Fe_2O_3$ . «Получение» данных по содержанию  $Fe_2O_3$  — это чисто искусственный прием, основанный на пользовании соответствующим градуировочным графиком (линейной концентрационной зависимости оптической плотности специально приготовляемого стандартного раствора  $Fe_2O_3$ ).

Главное — при реализации фотоколориметрического контроля (все методы контроля, предполагающие реагентную обработку пробы) вовсе утрачивается возможность доступа к информации о магнитоактивных примесях, обладающих ферро- и ферромагнитными свойствами, т. е. о ферропримесях, для удаления которых и предназначен магнитный сепаратор.

Как следствие, получаемые при таком подходе к контролю имеющиеся многочисленные результаты эксплуатации магнитных сепараторов оказываются непредсказуемыми и весьма разноречивыми с бессистемным разбросом данных. Возможность их логичной систематизации, из которой следовали бы столь ожидаемые оценки сред по их «склонности» к сепарации и оценки сепараторов по их адресной предпочтительности, осложнена.

Решению задачи контроля наиболее интересующих магнитоактивных железистых примесей в различном сырье строительной индустрии могло бы способствовать использование метода магнитоконтроля (ГОСТ 8253–79; ГОСТ 23672–79, а также ГОСТ 23789–79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. Определение содержания металлопримесей в вяжущем»; ГОСТ 25216–82 «Тальк и талькомагнезит. Метод определения железа»). Суть метода заключается в специальном извлечении магнитоактивных частиц из пробы анализируемой среды. Для этого постоянным магнитом производится «сканирование» поверхности пробы этой среды, предварительно рассредоточенной в виде тонкого слоя на горизонтальной плоскости (как и при довольно широкой реализации такого же метода для пищевых сред [2]). Одна операция такого сканирующего магнитофореза, а как правило, две серии (для взаимно перпендикулярных направлений) параллельных перемещений магнита (ГОСТ 23789–79, ГОСТ 25216–82), естественно, с условием полного охвата полем всей массы пробы при ее сканировании.

Регламентом ГОСТ 23789–79 предусматривается осуществление шести операций — с определением суммарной массы выделенных ферропримесей и последующим вычислением их концентрации (массовой доли) в пробе анализируемой среды. Практически аналогичным, только для трех операций (что еще более сближает его с соответствующими регламентами реализации метода магнитоконтроля ферропримесей пищевых сред [2]), является регламент в ГОСТ 25216–82. А регламент в ГОСТ 8253–79 вообще ограничивается одной операцией, призванной удостоверить факт «отсутствия» ферропримесей, хотя согласно тому же нормативу значение допустимой массовой доли железа (не нулевое, как обычно — в формальном пересчете на  $Fe_2O_3$ , при этом определенная магнитоактивная фракция, разумеется, присутствует всегда), тем не менее оговаривается. Регламент же в ГОСТ 23672–79, обязывая проводить подобную одну операцию магнитоконтроля, предусматривает еще дополнительную трехкратную (трехоперационную) магнитную сепарацию пробы валковым электромагнитным сепаратором. При этом, как и в описанных выше случаях, определяется суммарная масса всех выделенных (в четырех неравнозначных операциях) ферро-

<sup>1</sup> ГОСТ 22551–77 «Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности. Технические условия»; ГОСТ 15045–78 «Материалы кварц-полевошпатовые для строительной керамики. Технические условия»; ГОСТ 12085–88 «Мел природный обогащенный. Технические условия»; ГОСТ 8253–79 «Мел химически осажденный. Технические условия»; ГОСТ 23672–79 «Доломит для стекольной промышленности. Технические условия» (актуализация на 22.03.2010).

<sup>2</sup> ГОСТ 8253–79; ГОСТ 22552.2–93 «Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности. Методы определения оксида железа»; ГОСТ 26318.3–84 «Материалы неметаллорудные. Методы определения массовой доли оксида железа (III)»; ГОСТ 21138.8–78 «Мел. Метод определения массовой доли оксида железа (III)»; ГОСТ 23673.2–79 «Доломит для стекольной промышленности. Метод определения содержания окиси железа» (актуализация на 22.03.2010).

<sup>3</sup> При «определении» оксида железа  $Fe_2O_3$  (квазиединого соединения железа) этим методом контроля способствует формированию искаженного представления о фактическом присутствии железистых примесей в анализируемой среде. В ряде источников фигурируют и несколько расширенные понятия: массовая доля окислов железа в пересчете на  $Fe_2O_3$  (спектр железистых примесей условно ограничивается лишь окислами железа) и массовая доля железа в пересчете на  $Fe_2O_3$ .

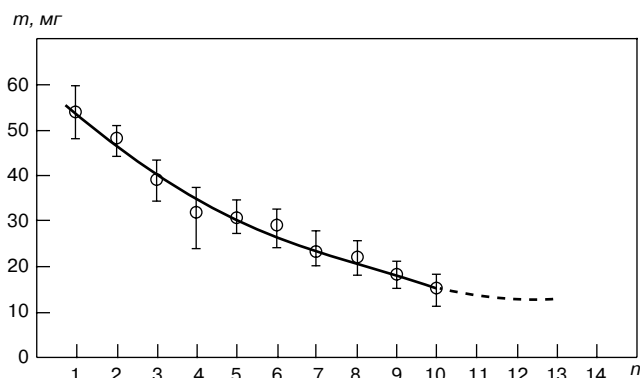


Рис. 1. Массово-операционная характеристика магнитоконтроля кварцевого песка (обычные координаты)

частиц, но с последующей идентификацией (посредством сита) частиц размерами более 0,25 мм.

Однако постулируемые в упомянутых регламентах<sup>1</sup>, не подкрепляемые какими-либо обоснованиями значения числа операций магнитоконтроля уже сами по себе вызывают сомнения, подтверждающееся соответствующими развернутыми результатами опытов с сыпучими средами [3]. Следуя иному подходу к лимитированию числа операций, операционные массы выделяемых ферропримесей не объёмались (традиционно: по накоплению), а фиксировались каждая отдельно и представлялись в виде убывающей зависимости этих операционных масс  $m$  от порядкового номера  $n$  операции.

Такие объективно более информативные (по отношению к ранее «скрытому» факту наличия остатка ферропримесей) опыты показывают, что операционная масса  $m$  выделяемых ферропримесей не обнуляется ни после первой, ни после третьей, четвертой или шестой, ни после какой-либо иной операции<sup>2</sup> [3]. Убывая с увеличением  $n$ , она лишь асимптотически приближается к своему пределу — нулевому значению. Это обстоятельство потребовало развития методологии магнитоконтроля ферропримесей различных сред [2–6] (не только сыпучих, но и жидких), основанной на том же, полностью оправдавшем себя принципе многократного повторения операций контроля.

Особенностью усовершенствованной методологии магнитоконтроля является то, что заведомо невыполнимая задача полной выборки феррочастиц не ставится, а преследуется цель получения соответствующей убывающей зависимости операционных масс  $m$  выделяемых феррочастиц от порядкового номера  $n$  операции [2–6]. При этом число операций устанавливается исходя из четко формулируемого условия — необходимости получения наиболее достоверной зависимости  $m$  от  $n$ , используемой (при условии минимизации погрешности ее аппроксимации) для последующей прогнозной экстраполяции.

Такая опытная зависимость, подвергаясь обязательному анализу для установления ее функционального вида (и возможности экстраполяции вплоть до гипотетически полной выборки:  $n \rightarrow \infty$ ), служит основанием для опытно-расчетного определения суммарных операционных масс, в том числе за рамками фактических операций магнитного выделения [2–6], а значит, истин-

ной концентрации ферропримесей. Следовательно, кажущийся неразрешимым вопрос «полного магнитного выделения» ферропримесей из анализируемой пробы на самом деле может быть разрешен путем обоснованной функциональной экстраполяции полученной операционной характеристики выделяемых масс.

## 2. Результаты операционного экстраполируемого магнитоконтроля ферропримесей в кварцевом песке.

На рис. 1 показана массово-операционная характеристика магнитоконтроля кварцевого песка, полученная в соответствии с [3–6] для ряда идентичных проб песка — при вполне достаточном (для установления ее функционального вида и последующего экстраполяционного прогноза) числе пошаговых операций ( $n=10$ ). Для взаимного разграничения в выделяемом при магнитоконтроле осадке фракций феррочастиц и вовлекаемых частиц анализируемой среды применялись предусмотренные в ГОСТ 23789–79 и ГОСТ 25216–82 приемы дополнительного магнитного воздействия на осадок. Поскольку предварительные тесты выявили сравнительно низкое содержание ферропримесей в подвергаемом испытаниям песке, для получения заметных значений операционных масс  $m$  осадка выделяемых частиц, особенно при увеличенном числе  $n$  операций, использовалась сравнительно представительные пробы — массой  $M=2,1$  кг.

Следует заметить: как и следовало ожидать, именно такая характеристика (рис. 1) в полной мере выявила ряд высказанных выше проблемных вопросов стандартного магнитоконтроля.

Так, на рис. 1 наглядно видно, что лимитируемые в ГОСТ 8253–79, ГОСТ 23672–79, ГОСТ 23789–79, ГОСТ 25216–82 значения числа операций (одна, три, четыре и даже шесть) явно не обеспечивают достаточно полной выборки ферропримесей из анализируемого песка; значения соответствующих операционных масс  $m$  выделяемых частиц весьма заметны. Более того, довольно заметные значения операционных масс  $m$  наблюдаются и при дальнейшем увеличении (более шести) числа операций.

Даже при максимальном числе операций ( $n=10$ ) говорить о достижении достаточно полной выборки ферропримесей все еще не приходится. И по всей видимости, при дальнейшем увеличении  $n$  операционные значения  $m$  будут лишь асимптотически приближаться к своему пределу (нулевому значению):  $m \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$ .

Для решения вопроса определения всех операционных масс  $m$ , не прибегая при этом к неоправданно большому (всегда недостаточному) числу операций магнитоконтроля, необходимо воспользоваться прогнозной экстраполяцией [3–6] полученной массово-операционной характеристики. А это возможно лишь на основе предварительно найденного ее функционального вида.

Согласно [3–6] получаемые для целого ряда сыпучих и жидких сред опытные зависимости  $m$  от  $n$  (линеаризующиеся в полулогарифмических координатах) подчиняются экспоненте:

$$m = a \cdot \exp(-k \cdot n), \quad (1)$$

где параметр  $a$  наиболее легко находится как «стартовая» (при формальном значении  $n=0$ ) ордината аппрок-

<sup>1</sup> Различные варианты метода магнитоконтроля (ГОСТ 8253–79; ГОСТ 23672–79; ГОСТ 23789–79; ГОСТ 25216–82) не касаются вопроса количественной оценки степени выборки ферропримесей, одного из принципиальных при магнитоконтроле. Это снижает ценность данных контроля в отношении не только концентрации ферропримесей, но и часто востребованной статистики их размеров (после микроскопии). Желаемое получение 100% результата выделения за счет «тщательного» выполнения операций и/или применения сильного магнитного воздействия на пробу анализируемой среды всегда остается проблемным. В любом исполнении подобного метода контроля уверенности в полном магнитном выделении ферропримесей, особенно высокодисперсных, нет и быть не может.

<sup>2</sup> На фоне этого ранее никак не учитываемого фактора в определенной мере нелепыми представляются некоторые рекомендации (ГОСТ 23789–79; ГОСТ 25216–82), «гарантирующие» точность анализа. Так, накопленную массу ферропримесей предписывается взвешивать «с погрешностью не более 0,2 мг» (ГОСТ 23789–79), а «расхождение между результатами двух параллельных определений массовой доли железа» (как частное от деления накопленной массы ферропримесей на массу пробы) «не должно превышать 0,005%» (ГОСТ 25216–82).



смированной опытной зависимости  $m$  от  $n$ ;  $k$  – обратным пересчетом с использованием (1) и взятой из этой зависимости любой пары данных  $m$  и  $n$ .

Представляя получаемую «первичную» массово-операционную зависимость (рис. 1) в полулогарифмических координатах (рис. 2), легко убедиться, что в таких координатах она действительно поддается линеаризации. Тем самым подтверждается ее функциональный вид типа (1) – с индивидуальными здесь (для изучаемого кварцевого песка) значениями  $a=62$  мг и  $k=0,14$ .

Разумеется, расчетная формула (1), адаптируемая к той или иной среде, – это первый шаг в реализации опытно-расчетного метода магнитоконтроля, следуя которому можно находить любое текущее значение операционной массы, в том числе за пределами фактического (опытного) участка зависимости  $m$  от  $n$ . Что же касается второго шага – получения необходимых расчетных формул для определения суммарных масс осадка, выделяемого при магнитоконтроле, то надо обратить внимание на следующее: записываемая почленно (для  $n=1,2,3,\dots$ ) дискретная функция (1) представляет собой функциональный ряд в виде убывающей геометрической прогрессии. А это позволяет легко находить сумму любого числа ее членов [3–6].

Так, общая масса  $m_{1,\dots,\infty}$  ферропримесей в анализируемой пробе (при числе операций от  $n=1$  до  $n\rightarrow\infty$ , т. е. фактически выделенная и остаточная), а также масса  $m_{1,\dots,n}$  ферропримесей, выделяемых при ограниченном числе  $n$  операций ( $m_{1,\dots,n} < m_{1,\dots,\infty}$ ), находятся по формулам:

$$m_{1,\dots,\infty} = a / (\exp k - 1); \quad (2)$$

$$m_{1,\dots,n} = a [1 - \exp(-k \cdot n)] / (\exp k - 1); \quad (3)$$

$$m_{1,\dots,n} / m_{1,\dots,\infty} = 1 - \exp(-k \cdot n), \quad (4)$$

причем поддается расчету и соответствующая степень выборки ферропримесей:  $m_{1,\dots,n} / m_{1,\dots,\infty}$ .

Следовательно, что касается анализируемой пробы песка, то общая масса осадка, как фактически выделенного при осуществлении реального числа операций магнитоконтроля, так и того, который может быть выделен при продолжающемся неограниченном числе операций, согласно (2) составляет здесь величину  $m_{1,\dots,\infty} = 413$  мг. Тогда массовая доля (концентрация) ферропримесей в анализируемом песке (без детализации фактора вовлечения частиц анализируемой среды) может быть найдена как  $c = m_{1,\dots,\infty} / M = 197$  мг/кг = 0,02%.

### 3. О погрешности метода магнитоконтроля ферропримесей с ограниченным числом операций контроля.

Совокупная масса осадка, выделенного после выполнения всего комплекса операций, т. е. 10 операций, найденная путем сложения полученных операционных масс (рис. 1, 2), т. е. как  $m_{1,\dots,10} = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_{10}$ , составляет заметно меньшую, чем  $m_{1,\dots,\infty}$ , величину. Так,  $m_{1,\dots,10} = 311$  мг (рис. 1, 2), что в 1,3 раза меньше по сравнению с оговоренной потенциальной массой ( $m_{1,\dots,\infty} = 413$  мг).

Заметим также обстоятельство, свидетельствующее о достоверности выбранной расчетной модели. Так, при нахождении  $m_{1,\dots,10}$ , наряду с простым сложением масс  $m_1, m_2, m_3$  и т. д. можно также воспользоваться расчетной формулой (3). Результат вычисления оказывается практически тем же:  $m_{1,\dots,10} = m_{1,\dots,10} = 311$  мг. А отсутствие различия между сугубо опытным и расчетным значениями, что, по сути, отражает весьма малую погрешность рассматриваемого здесь экспериментально-расчетного метода магнитоконтроля, как раз и свидетельствует о достоверности расчетной формулы (3), а значит, и расчетной формулы (2).

Располагая же полученным значением потенциальной выделяемой (из пробы) массы осадка ( $m_{1,\dots,\infty} = 413$  мг),

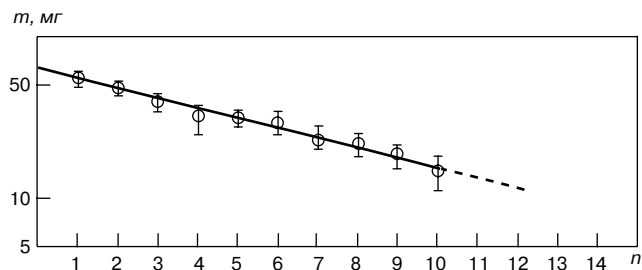


Рис. 2. Массово-операционная характеристика магнитоконтроля кварцевого песка (полулогарифмические координаты)

его целесообразно использовать для оценки погрешности магнитоконтроля, основанного лишь на сугубо результатах лимитированного числа операций. С этой целью его уместно сравнить со значениями, получаемыми при реализации однооперационного, трех-, четырех- и шестиоперационного магнитоконтроля, ориентируясь тем самым на стандартные методы магнитоконтроля (ГОСТ 8253–79; ГОСТ 23672–79; ГОСТ 23789–79; ГОСТ 25216–82).

При осуществлении шести операций (рис. 1, 2) суммарная масса выделенного осадка составляет  $m_{1,\dots,6} = 233$  мг (расчетная:  $m_{1,\dots,n} = m_{1,\dots,6} = 235$  мг); эффективность такого выделения (степень выборки ферропримесей) при реализации стандартного метода по ГОСТ 23789–79 достигает всего лишь  $m_{1,\dots,6} / m_{1,\dots,\infty} = 0,56$ . Значит, при такой степени выборки, когда истинное содержание ферропримесей в исследуемом песке превышает результат стандартного шестиоперационного магнитоконтроля в 1,8 раза, говорить о приемлемости метода контроля в соответствии с ГОСТ 23789–79 (с точки зрения достоверности получаемых результатов) вряд ли возможно.

Еще хуже обстоит дело с вариантом четырех- и трехоперационного магнитоконтроля (ГОСТ 23672–79 и ГОСТ 25216–82). Так, при осуществлении четырех и трех операций (рис. 1, 2) суммарная масса выделенного осадка:  $m_{1,\dots,4} = 173$  мг (расчетная:  $m_{1,\dots,n} = m_{1,\dots,4} = 177$  мг) и  $m_{1,\dots,3} = 141$  мг (расчетная:  $m_{1,\dots,n} = m_{1,\dots,3} = 142$  мг). Значит, степень выборки ферропримесей при реализации этих стандартных методов составляет еще меньшую величину, а именно  $m_{1,\dots,4} / m_{1,\dots,\infty} = 0,42$  и  $m_{1,\dots,3} / m_{1,\dots,\infty} = 0,34$ , т. е. истинное содержание ферропримесей в исследуемом песке весьма существенно превышает результат стандартного четырех- и трехоперационного магнитоконтроля – соответственно в 2,4 и 2,9 раза.

Совсем плохим следует признать результат однооперационного магнитоконтроля (ГОСТ 8253–79): масса выделенного осадка  $m_1 = 54$  мг, отнесенная к потенциальной массе ( $m_{1,\dots,\infty}$ ), составляет здесь всего лишь  $m_1 / m_{1,\dots,\infty} = 0,13$ , т. е. истинное содержание ферропримесей в исследуемом песке превышает результат стандартного однооперационного магнитоконтроля в 7,8 раза.

Такой количественный анализ не только позволяет выявить, на наш взгляд, убедительные критические замечания по поводу погрешностей стандартных методов магнитоконтроля (ГОСТ 8253–79; ГОСТ 23672–79; ГОСТ 23789–79; ГОСТ 25216–82). Одновременно он является и серьезным аргументом в пользу реализуемого опытно-расчетного метода магнитоконтроля [3–6]. При этом, напомним, то или иное число операций должно выполняться оператором из прагматичных соображений, подчиненных одной из главных задач метода – установлению характеристики операционно выделяемых масс ферропримесей как аналитической функции. А это – ключевой шаг в осуществлении объективной (нелимитированной) прогнозной экстраполяции таких масс за пределы фактического эксперимента, с беспрепятственным нахождением значений суммарной

массы ферропримесей в анализируемой пробе и их истинной концентрации (массовой доли).

**Ключевые слова:** полиоперационный экстраполируемый магнитоконтроль, феррофракция.

**Список литературы**

1. Сандуляк А.А., Сандуляк А.В., Пугачева М.Н. и др. Магнитостатические очистные аппараты (гребенчатые сепараторы): базовые характеристики рабочих зон // Строительные материалы. 2008. № 5. С. 40–41.
2. Сандуляк А.А., Полисмакова М.Н., Ершова В.А. и др. Контроль ферропримесей пищевых сред: недостатки и основные концепции совершенствования нормативно-метрологической базы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 1. С. 60–66.
3. Сандуляк А.А., Полисмакова М.Н., Ершов Д.В. и др. Функциональная экстраполяция массово-операционной характеристики магнитофореза как основа прецизионного метода контроля феррочастиц // Измерительная техника. 2010. № 8. С. 57–60.
4. Сандуляк А.В., Пугачева М.Н., Сандуляк А.А. и др. Способ определения концентрации магнитовосприимчивых примесей в текучей среде. Патент 2409425 РФ // Оpubл. Б.И. № 2. 2011.
5. Сандуляк А.А., Полисмакова М.Н., Свистунов Д.И. и др. Устройство для определения содержания в текучей среде магнитно-восприимчивых примесей (варианты). Патент 93305 РФ // Оpubл. Б.И. № 12. 2010.
6. Сандуляк А.А., Свистунов Д.И., Полисмакова М.Н. и др. «Экстраполируемая цепочка» магнитных тест-фильтров как средство контроля ферропримесей // Законодательная и прикладная метрология. 2010. № 3. С. 26–27; 35–39.

**Разделы выставки:**

- Строительные материалы и технологии
- Малоэтажное, индивидуальное домостроение
- Деревянное домостроение, деревообработка
- Архитектура, проектирование, дизайн
- Декор. Отделочные материалы.
- Товары для дома и интерьера
- Окна. Двери. Лестницы. Комплектующие
- Бани. Сауны. Бассейны. Сантехника
- Лифтовое, жилищно-коммунальное, парковое хозяйство
- Телекоммуникационные, охранные системы
- Оборудование для детских площадок
- Инженерные сети: устройство скважин, канализация, водоснабжение, газоснабжение, отопление, вентиляция, кондиционирование, электрические системы
- Энергосбережение. Электро- и светотехника
- Энерготехнологическое и электротехническое оборудование, электроприводы и преобразовательная техника
- Коммунальная, дорожно-строительная техника. Спецавтотехника
- Кредитование. Лизинг. Финансирование строительного комплекса

С.Н. ЛЕОНОВИЧ, д-р техн. наук, Белорусский национальный технический университет;  
Г.Л. ШУКИН, А.Л. БЕЛАНОВИЧ, кандидаты хим. наук, В.П. САВЕНКО, инженер,  
С.А. КАРПУШЕНКОВ, канд. хим. наук, Белорусский государственный университет  
(Минск, Республика Беларусь)

## Формирование пористой структуры силикатных теплоизоляционных материалов

В последние годы в мировой практике интенсивно развиваются исследования по созданию простых по исполнению и воспроизводимых технологий производства эффективных, негорючих, экологически чистых щелочно-силикатных теплоизоляционных материалов из местного и техногенного сырья. Применение их в ремонтно-строительной индустрии позволит исключить использование горючих и органических вспученных материалов.

Однако из анализа патентной и технической литературы следует, что решение проблемы создания крупных, соответствующих требованиям сегодняшнего дня производств лежит не только в плоскости конструирования новых составов сырьевых смесей и получении опытных партий твердосиликатных вспученных материалов, но и в понимании механизма взаимодействия компонентов смеси с образованием вспученных структур с заданными эксплуатационными свойствами.

В частности, вопросы механизма химического отверждения жидкого стекла, формирования микроструктуры вспученного материала и влияния на его характеристики состава сырьевой смеси и добавок, различных по химическому воздействию на протекающие в силикатной системе при нагревании процессы, остаются дискуссионными до настоящего времени. Очевидно, что термическая поризация достаточно сложна и протекает за счет не только температуры, но и положительного роста энтропии во время увеличения объема системы, сопровождающегося возрастанием суммарной поверхности пористой структуры и т. д.

Целью данного исследования являлось изучение особенностей формирования из сырьевой смеси пористого твердосиликатного образования и влияние различных технологических факторов на получение теплоизоляционных материалов с заданными свойствами.

**Результаты и обсуждение.** Твердение жидкосиликатной сырьевой смеси, которая используется для получения вспученного теплоизоляционного материала, в условиях нормальной температуры развивается весьма медленно и связано с увеличением вязкотекучего состояния системы и образованием на поверхности полисиликатной пленочной структуры, которая тормозит выделение паров воды из объема. На длительность потери воды в нормальных условиях силикатной сырьевой смеси во времени оказывают влияние различные внутренние и внешние факторы. К ним относятся прежде всего увеличение вязкости за счет внутреннего перехода силикатного образования в полисиликаты с последующим выделением геля кремниевой кислоты, который в условиях дальнейшего испарения влаги переходит в стадию поликонденсации с образованием термодинамически устойчивых полимерных продуктов [1].

С увеличением температуры хранения сырьевой смеси теряется ее вязкость и при температуре 70–90°C происходит коагуляция с постепенным переходом системы в гелеобразное агрегатное состояние.

Эффект коагуляции сырьевой смеси может достигаться не только методом удаления воды из силикатной

системы с помощью температуры, но и при воздействии на смесь веществ, связывающих воду, т. е. способных высаливать полисиликат из водного раствора. К таким веществам относятся органические вещества – спирты, кетоны, эфиры и др., которые способны образовывать с водой сольваты, а также нейтральные неорганические соли: NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и т. д.

Установлено, что введение в состав жидкого стекла 3–5% этилового спирта приводит к разрушению его структуры с образованием кремниевой кислоты и растворением в спиртовом растворе свободной щелочи и низкомолекулярных силикатных соединений. По аналогичной схеме разрушается в присутствии спирта и сырьевая смесь, например, мас. %: жидкое стекло – 80; доломитовая мука – 10; молотый песок – 10. Время сушки осажденного геля кремниевой кислоты, полученного как из жидкого стекла, так и из сырьевой смеси, до 5–7% остаточной влажности сокращается в 1,5–2 раза; температура и коэффициент вспучивания таких гелеобразных структур сопоставимы с исходным материалом.

Такой способ коагуляции сырьевой смеси пока не нашел широкого применения в производстве вспученных теплоизоляционных материалов из-за введения дополнительных технологических операций, появления необходимости утилизации спиртовых отходов и т. д. Вместе с тем этот метод представляет интерес для дальнейшей разработки технологии производства специфических (ионообменные ситаллы, цеолиты, фильтры и т. д.) и теплоизоляционных материалов с заданными свойствами.

Склонность силикатной системы к поликонденсации связана со стремлением ее устойчивого состояния к минимуму поверхностной энергии, а также с тем, что в ортокремниевой кислоте Si<sup>4+</sup> может свободно иметь окружение из шести групп OH<sup>-</sup>. По мере увеличения температуры твердеющей силикатной системы она теряет физически связанную воду, поликонденсация нарастает. Цепочечная поликонденсация ортокремниевой кислоты приводит к образованию силоксановой связи ≡Si-O-Si≡.

В случае, когда в сырьевой смеси содержится избыточное количество щелочи, образуются цепные силикаты натрия. Когда же щелочь в системе в дефиците, в результате увеличения количества ортокремниевой кислоты силикатная связка будет представлять трехмерный полимер. Если в реакции участвует неорганический полимер, состоящий из шестичленных колец с повторяющейся группой Si<sub>3</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>, силикатная система формирует объемную структуру. При выделении воды образуется циклическая три-, тетра- и пентакремниевая силикатная система, которая имеет пространственную объемную структуру. Следует иметь в виду, что для неорганических полимеров специфическим является наличие не полимерных молекул, а полимерных ионов [2].

Механизм дегидратации жидких стекол исследован в [3], и установлено три стадии отщепления воды при температуре в пределах 70–280°C. В частности, при удалении воды при температуре 70°C уходит свободная



вода, до 250°C удаляется вода, которая связана водородными связями с полианионами, и выше 250°C удаляется силанольная вода, активируется поликонденсация кремнекислородных анионов и распад силоксановых связей.

Установлено [4], что в натрий-силикатных стеклах более 3% воды находится в виде молекул, водородно-связанных с одним кислородом; менее 3% воды связано в виде молекул с двумя немостиковыми кислородами.

При термическом вспучивании щелочно-силикатных систем порообразователями являются в основном силанольная и молекулярная вода, связанная водородными связями с мостиковыми атомами кислорода. Необходимо, чтобы силикатный материал во время водоотделения находился в размяченном пиропластическом состоянии. Возникновение этого состояния в твердеющей щелочно-силикатной сырьевой смеси наступает в результате накопления в ней значительного количества жидкой фазы – силикатного расплава.

Эффективное вспучивание силикатного гидрогеля возможно лишь при условии, когда при определенном водосодержании и температуре начинается дегидратация, температура которой несколько превышает температуру стеклования силиката. Это соотношение количественно и качественно должно сохраняться в ходе дегидратации вплоть до полного обезвоживания гидрогеля. Установлено [5], что повышение степени полимеризации кремнекислородного аниона в гидрогеле, особенно с образованием каркасной структуры, резко повышает температуру стеклования и снижает температуру дегидратации. Это может сделать термическое вспучивание невозможным.

Гидратная вода, которая выступает газообразователем, входит в структуру силиката и может превращаться в пар лишь при температуре 250–300°C. Объем образующегося пара больше объема исходной воды в 600–4000 раз [6]. Вспучивание предполагает, что пар остается в массе и способствует образованию ячейистой структуры. Формирование такой структуры включает три стадии: зарождение газового пузырька, его рост, стабилизацию размеров и местоположение.

Рост пузырька и образование пор самый сложный процесс, в котором формирование единичной газовой поры происходит не от одной частицы газообразователя, а от их совокупности. Можно представить, что рост и образование газовой поры происходят вследствие двух одновременно протекающих явлений: за счет объединения мельчайших газовых пузырьков при их росте и за счет формирования межпорового пространства. Рост пузырьков не безграничен. Этот процесс начинается и протекает одновременно во всей массе, поэтому они не могут стянуться к одному пузырьку. Замечено, что расстояние между пузырьками по мере их объединения увеличивается. Пузырек вследствие большой разницы плотности газа и массы стремится всплыть, что приводит к выходу газа из массы и снижению равномерности поровой структуры.

Важнейшей предпосылкой для получения вспученного материала с оптимальными характеристиками свойств и их достаточной воспроизводимостью является соблюдение принципа соответствия скоростей испарения влаги и формирования новых твердосиликатных структур. Любые изменения в принципе соответствия, влекут за собой изменение свойств этих образований.

В ходе выполнения работы установлено, что остаточная влажность сырьевой смеси более 7% ее массы, а также неравномерность разогрева до температуры вспучивания сказываются на регулярности пор и прочности всей пористой структуры. Кроме того, установлено, что давление паров воды при вспучивании сырьевой смеси не должно превышать прочности при разрыве образующихся из пиропластического состояния смеси пленочных структур. В противном случае вместо однородной

структуры с равномернораспределенными, преимущественно замкнутыми порами можно получить крупнопористый материал с пустотами и кавернами.

Если к основным преимуществам термического вспучивания силикатных систем можно отнести достижение минимального значения кажущейся плотности (25–50 кг/м<sup>3</sup>) и коэффициента теплопроводности (0,03–0,05 Вт/(м·с), то к недостаткам – повышенную энергоемкость и трудность получения изделий в плитной форме.

Последнее обусловлено тем, что при небольшой температуре поризация осложняется за счет образования вокруг поризуемого объема смеси пористого теплоизоляционного слоя, который замедляет прогрев внутренних слоев, в результате чего длительность поризации существенно возрастает.

Кроме того, к главной проблеме применения термовспученного силикатного теплоизоляционного материала следует отнести его низкую водостойкость. По мнению авторов [5], основной путь решения этой проблемы лежит в использовании водоупрочняющих добавок при проектировании сырьевой смеси. В качестве таких добавок можно использовать соединения, которые имеют кислотный характер, твердые кремниевые кислоты, соли двух- и трехвалентных металлов, действие которых основано на увеличении полимеризации силикатной матрицы. Однако такие добавки, особенно аломосодержащие, существенно снижают вспучиваемость гидрогеля.

Замечено, что отвердители жидкого стекла, полученные реакцией конденсации фосфатов и алюминатов, обеспечивают в силикатных материалах, в том числе и вспученных, высокую водостойкость. В зависимости от степени конденсации и соотношения фосфатов и алюминатов можно получить отвердители с различной активностью. Эти отвердители взаимодействуют с жидким стеклом с образованием кремниевых кислот, которые вступают в реакцию конденсации и образуют гелеобразную массу, способную к вспучиванию.

Отвержденные на уровне жидкосиликатной системы вспученные массы проявляют высокую водостойкость и прочность. Вместе с тем сырьевая смесь из-за избытка в растворе Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> и Na<sub>3</sub>AlO<sub>3</sub> теряет пластичность и способность создавать при термическом вспучивании с высоким коэффициентом регулярную ячейистую структуру. Потеря пластичности сырьевой смеси обусловлена разрушением жидкосиликатной структуры за счет взаимодействия фосфатных и алюминатных ионов с избытком щелочи и силикатными ионами, что влечет за собой снижение pH среды смеси и образование сложного по составу силикатоалюмофосфатного связующего.

Вместе с тем известно, что основным фактором получения высокопористой ячейистой структуры является постоянство пластично-вязких свойств сырьевой смеси и устойчивая кинетика паровыделения при ее вспучивании. При конструировании сырьевой смеси, обеспечивающей устойчивое получение теплоизоляционного материала с заданными эксплуатационными свойствами, следует учитывать не только ее первоначальный состав, но и характер его изменений при сушке, перехода в пиропластическое состояние и последующего вспучивания щелочно-силикатной системы. Во всех этих технологических переходах важную роль играет вода, находящаяся в сырьевой смеси. В частности, избыток воды в сырьевой смеси не обеспечивает оптимального соотношения показателей пластичности и вязкости раствора.

Известно [1], что равновесие жидкосиликатной композиции при взаимодействии с большинством гетерогенных и гомогенных неорганических веществ также нарушается. В большинстве случаев их присутствие в системе приводит к изменению вязких свойств смеси. Активные добавки позволяют не только интенсифицировать поли-

конденсацию жидкосиликатных связующих, но и придавать продуктам твердения новые свойства. Одним из путей регулирования свойств жидкого стекла, следовательно, сырьевой смеси является их модифицирование, под которым понимается концепция изменения структуры щелочно-силикатных растворов и конденсации путем введения в состав добавок модификаторов.

В [6] предлагается классифицировать добавки, используемые при изготовлении теплоизоляционного материала методом термического вспучивания щелочно-силикатной смеси, по отношению к жидкому стеклу на инертные, выполняющие роль структурообразующего наполнителя (кварцевый песок, трепел, перлит и др.), гелеобразующие (хлориды кальция и магния), вызывающие реакцию гелеобразования жидкого стекла, и термоактивные добавки, нерастворимые в жидком стекле и не вступающие с ним в заметное обменное взаимодействие. По мнению авторов, взаимодействие вводимых добавок с жидким стеклом при нормальных условиях должно быть минимальным. В этом случае сохраняется максимальная поризационная способность смеси.

Однако следует учитывать, что при повышенной температуре возможно протекание физико-химических процессов, которые не характерны для жидкосиликатных смесей при стандартных условиях.

В частности, данные [7] по щелочно-силикатной активации глинистых и оксидных минералов указывают на то, что вводимые в жидкое стекло минеральные добавки практически все в той или иной мере взаимодействуют с ним с образованием сложных по составу силикатных структур, которые вносят свой вклад в свойства не только вяжущих систем, но и продуктов их термического разложения.

Установлено, что при проектировании составов сырьевой смеси следует учитывать время протекания межфазовой реакции между твердым наполнителем и жидким стеклом, которое определяет время его живучести. В технологическом процессе жидкое стекло проходит стадию гелеобразования, и для сохранения поризационной способности химические добавки целесообразно вводить в виде сухих, тонкодисперсных порошков, что замедляет ионный обмен между реагирующими компонентами смеси и увеличивает время достижения равновесного состояния. Снижение скорости взаимодействия компонентов позволяет сохранить полимерную структуру жидкого стекла и поризационную способность композиции, что ведет к некоторому улучшению эксплуатационных характеристик щелочно-силикатных поризованных структур.

**Заключение.** Специфической особенностью щелочно-силикатных композиций, в том числе жидкого стекла или полученной на его основе сырьевой смеси, является то, что при изменении состава от высокощелочных растворов до нейтральных зольей происходят изменения их свойств. Эти изменения могут быть вызваны различными факторами, от величины кремнеземного модуля до модифицирования раствора жидкого стекла гомогенными или гетерогенными добавками, а также воздействия температуры. Изменение физико-химических свойств жидкосиликатной сырьевой смеси при термической сушке в значительной степени определяется микроструктурной перестройкой, происходящей в связующем. Однако имеющиеся отрывочные сведения о результатах исследования закономерностей формирования твердосиликатной структуры не могут дать полного представления о механизме минералообразования твердеющих и твердых силикатных структур. Необходимость исследования процессов, протекающих в жидкосиликатной смеси с последующим переходом в твердое состояние, и установление закономерностей управления этими процессами имеют не только научное, но и практическое значение. Можно

считать установленным, что практически для всех жидкосиликатных сырьевых смесей температурное структурообразование определяется не только составом и концентрацией исходных веществ, но и их химической природой и способностью к взаимодействию с силикатными структурами с образованием новых соединений.

Главной движущей силой термического вспучивания силикатных систем является увеличение давления паров воды в объеме материала. Поризация определяется количеством и видом влаги, находящейся в системе, изменением химического состава и свойств силикатной массы при переходе ее из пиропластического в твердое состояние, а также изменением проницаемости поверхностной пленочной структуры при нагревании. При формировании пористой структуры из немодифицированного или модифицированного жидкого стекла с максимальной однородностью пор в объеме вспученного материала наибольший вклад вносит связанная конституционная вода, которая начинает удаляться из объема силикатной массы при температуре 250–300°C. Интенсивное удаление избытка свободной и адсорбированной влаги на начальной стадии приводит в основном к образованию крупных, сквозных пор и раковин.

Коэффициент вспучивания силикатной массы может колебаться в зависимости от состава и условий вспучивания. Особенно чувствительна величина коэффициента вспучивания к содержанию воды в исходном материале и к свойствам пленочной структуры, которая формируется при прогреве образца на поверхности и сдерживает выход водяного пара из объема. Способность этой пленочной структуры влиять на величину коэффициента вспучивания и характер распределения пор в объеме образца при прогреве определяется в основном химическим составом силикатной массы. Все исследуемые добавки, введенные в состав жидкого натриевого стекла, выступают в той или иной мере в качестве модификаторов силиката натрия и образуют с ним соединения, обеспечивающие при температурном вспучивании формирование плотноупакованных сферических структур, которые связаны между собой продуктами разложения жидкого стекла. Разрушение таких структур может происходить по адгезионному или когезионному механизму. Поскольку жидкостекольные продукты обладают высокой смачиваемостью, то значительная часть затвердевшей композиции разрушается по адгезионному или смешанному механизму.

**Ключевые слова:** жидкое стекло, теплоизоляционный материал, пористая структура.

#### Список литературы

1. Айлер Р. Химия кремнезема. М.: Мир, 1982. 1127 с.
2. Корнеев В.И. Производство и применение растворимого стекла. Жидкое стекло. Л.: Стройиздат, 1991. 176 с.
3. Рыжков И.В., Толстой В.С. Физико-химические основы формирования и свойства смесей с жидким стеклом. Харьков: Вища школа, 1975. 140 с.
4. Лисичкин Г.В., Фадеев А.Ю., Сердан А.А. Химия привитых поверхностных соединений / Под ред. Г.В. Лисичкина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 590 с.
5. Малявский Н.И. Щелочно-силикатные утеплители. Свойства и химические основы производства // Российский химический журнал. 2003. Т. XLVIII. № 4. С. 39–43.
6. Лотов В.А., Кутугин В.А. Формирование пористой структуры пеносиликатов на основе жидкостекольных композиций // Стекло и керамика. 2008. № 1. С. 6–10.
7. Davidovits J. Ancient and modern concretes: what is the real difference? // Concrete. International. 1987. V. 9. №. 12. Pp. 23–29.



**5-7  
сентября  
2012 г.  
Пермь**

**Оргкомитет:  
140050,  
Московская обл.,  
п. Красково,  
ул. К. Маркса, д. 117,  
ВНИИСТРОМ**

**Телефоны:  
(495) 557-30-11  
E-mail: gips@  
rescom.ru**

**www.rosgips.ru**

**Российская гипсовая ассоциация  
Московский государственный строительный университет  
ВНИИСТРОМ им. П.П. Будникова  
Научно-исследовательский институт строительной физики  
ГУП «НИИМосстрой»**

---

**Шестая Международная конференция  
«Повышение эффективности производства  
и применения гипсовых материалов и изделий»**

---

**Тематика конференции:**

- **технический прогресс в области гипсовых материалов и изделий  
(исследования, производство и применение)**
- **ангидритовые вяжущие**
- **гипсовые материалы в малоэтажном строительстве**
- **привлекательность и механизмы инноваций в гипсовой отрасли**
- **современное оборудование для производства гипсовых вяжущих, материалов  
и изделий на их основе**
- **лаборатории, менеджмент качества, экологический менеджмент и их роль в  
обеспечении качества и долговечности гипсовых материалов**
- **нормативно-техническая документация в соответствии с современными  
требованиями**
- **обучение и переподготовка специалистов в области производства и  
применения гипсовых материалов и изделий**



**В рамках конференции состоится:  
тематическая производственная экскурсия  
на ООО «КНАУФ ГИПС КУНГУР»  
и в Кунгурские гипсовые пещеры**

---

Генеральный информационный спонсор: журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

---



**НОВОСТИ КОМПАНИЙ**

**В Башкирии растет производство основных видов стройматериалов**

В их числе: цемент, гипс, сборный железобетон, кирпич, шифер, термополированное листовое стекло, керамическая плитка, оконные и дверные конструкции.

Нарастивание темпов производства стало возможным благодаря разработанной в 2011 г. Госстроем РБ республиканской программы «Развитие предприятий промышленности строительных материалов и индустриального домостроения в Республике Башкортостан до 2020 года».

Программой предусматривается нарастить республиканские производственные мощности по основным строительным материалам на 1,5 млн т цемента, почти 550 млн шт. условного кирпича, около 100 тыс. м<sup>3</sup> железобетонных конструкций, 100 тыс. м<sup>2</sup> деталей крупнопанель-

ного домостроения, 182 тыс. т строительной извести в год. Общий объем инвестиций планируется в размере около 22 млрд р. в действующих ценах.

Из ближайших мероприятий, предусмотренных программой, уже в 2012 г. в Аургазинском районе республики планируется ввод завода по производству высококачественного керамического кирпича и поризованных блоков. Ежегодная мощность завода 80 млн шт. усл. кирпича.

В Уфе и Нефтекамске на заводах железобетонных изделий ООО «Промтехстрой» и ООО «Башнефтепромстрой» планируется пуск двух технологических линий по безопасному изготовлению железобетонных конструкций общей мощностью до 70 тыс. м<sup>3</sup> в год.

*По материалам агентства «Башинформ»*

**В Невьянском карьероуправлении внедряется в производство новый вид взрывчатых веществ четвертого поколения**

Подготовка горной массы к выемке и перемещению относится к основным технологическим процессам горного производства и в значительной мере определяет себестоимость добычи полезных ископаемых. При переходе с отработанного Восточного карьера на новый – Шуралинский (Свердловская область) изменились горно-геологические условия, возросла потребность во взрывчатых веществах, пригодных к применению как на обводненных, так и на необводненных блоках и которые позволяли бы производить безопасную зарядку скважин. Было предложено внедрить на участке буровзрывных работ новые виды взрывчатых веществ – эмульсионные взрывчатые вещества марок «Нитронит» и «Ярит-Н». За 10 месяцев применения на практике подтвердились преимущества использования

эмульсионных взрывчатых веществ четвертого поколения. Они изготавливаются на местах производства работ в процессе зарядания скважин смесительно-зарядной машиной. Их применение позволило увеличить суммарный заряд массовых взрывов до 13 т, объем взорванной горной массы до 16–18 тыс. м<sup>3</sup>, а также повысить степень безопасности при транспортировке, так как перевозятся невзрывчатые компоненты. К тому же применение эмульсионных взрывчатых веществ ведет к снижению как опасности взрывных работ, так и их экологического воздействия на окружающую среду. Увеличение объемов применения эмульсионных взрывчатых веществ с приготовлением на местах производства в ООО «Невьянское карьероуправление» – один из путей снижения затрат на взрывные работы и безопасность для человека и окружающей среды.

*По материалам ЗАО «ЕВРОЦЕМЕНТ групп»*

**Новые технологии ремонта в «Сибирском цементе»**

Специалисты ООО «Красноярский цемент» (входит в ХК «Сибирский цемент») осваивают новые технологии ремонта: завод станет первым предприятием холдинга, на котором работы по выбивке футеровки пройдут по-новому. На Красноярском цементном заводе начался ремонт самой мощной технологической линии производства – вращающейся печи № 5 цеха «Обжиг». В ходе работ специалисты предприятия заменят части корпуса печи и футеровку высокотемпературной зоны, а также проведут ремонт электрофильтра и угольного отделения. Выбивка футеровки впервые пройдет по новой, более современной технологии.

Трудиться в рабочей зоне будет робот-манипулятор TopTec 1850E, который и выполнит выбивку футеровки путем штрабления. Помощь машины позволит в 2,5 раза сократить срок выполнения работ: со своим заданием робот-манипулятор справится за 24 ч, в то время как человеку, работающему с помощью отбойного молотка, потребуются примерно 63 ч. Кроме того, использование современной техники даст возможность повысить уровень производственной безопасности. Применение нового оборудования позволит провести сложный ремонт, не отклоняясь от установленного графика, и оперативно запустить печь в работу.

*По материалам пресс-службы ХК «Сибирский цемент»*

**Производство бетона растет**

Согласно статистическим данным, производство товарного бетона в России увеличилось в 2011 г. на 20%. Лидером по приросту производства стал Северо-Западный федеральный округ, где зафиксирован прирост объемов на 35%. Самый маленький прирост показал Северо-Кавказский ФО с показателем всего 4%. Следует отметить, что показатели всех федеральных округов оказались выше значений 2010 г. Среди регионов по динамике производства бетона в 2011 г. в явные лидеры вышли Ленинградская (+90%), Калининградская (+81%) и Омская области (+82%), но есть регионы с отрицательной динамикой, среди которых Республика Хакасия (-79%), Тюменская об-

ласть (-10%), Республика Марий Эл (-21%) и Тверская область (12%).

Производство бетона в феврале 2012 г. выросло на 18% и составило около 1,3 млн м<sup>3</sup>. Это рекордный показатель за последние 4 года, причем рост производства в сравнении с февралем 2011 г. составляет практически 30%. Цены на бетон также растут, и средние показатели в феврале увеличились в сравнении с прошлым годом примерно на 400 р. за м<sup>3</sup>. По итогам первых двух месяцев этого года наибольший рост производства отмечен в Приволжском и Центральном федеральном округах. Наименьший – в Дальневосточном и Сибирском ФО.

*По материалам компании «Амикрон-Консалтинг»*

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**В Туве увеличивается производство строительных материалов**

Оживление инвестиционной активности в последние годы положительно влияет на процесс производства строительных материалов в Туве. Объем строительных работ в период 2007–2011 гг. увеличился в 2,5 раза – с 986 до 2463 млн. р. Развитие жилищного и промышленного строительства, строительства объектов социальной сферы повлекло за собой рост производства основных видов строительных материалов. Выпуск керамического кирпича с 2007 по 2011 г. увеличился вдвое и достиг 5,4 млн шт., производство сборных железобетонных конструкций и изделий с 900 увеличилось до 3,8 тыс. м<sup>3</sup>, бетона – с 400 до 2,1 тыс. м<sup>3</sup>. Значительно больше стало выпускаться пиломатериалов, оконных и дверных блоков. Более чем в три раза – с 92,4 тыс. до 286,1 тыс. м<sup>3</sup> увеличилось производство не-

рудных материалов – песка, гравия, щебня. Производство асфальтобетонных смесей – с 6,4 до 122,7 тыс. т. Тем не менее существующие в республике объемы производства не удовлетворяют быстро растущие потребности строительных организаций. Решению этой проблемы должна способствовать республиканская целевая программа развития промышленности строительных материалов на период до 2020 г. Финансирование программы предполагается осуществлять за счет собственных средств предприятий, банковских кредитов, частных инвесторов с использованием механизмов государственно-частного партнерства. Из средств республиканского бюджета предусматривается, в частности на 2012–2014 гг., субсидирование процентной ставки по кредитам в размере 80 млн р.

По материалам информационного агентства «ТуваОнлайн»

**Правительство Беларуси возместит цементным заводам часть процентов по кредитам**

В 2012 г. организациям цементной промышленности страны (ПРУП «Белорусский цементный завод», ПРУП «Кричевцементношифер» и ОАО «Красносельскстройматериалы») возместят часть процентов за пользование банковскими кредитами и предоставление им гарантии. Возмещение будет осуществляться за счет средств, предусмотренных в республиканском бюджете на прочие расходы в области промышленности, строительства и архитектуры. Такие меры предпринимаются для обеспечения финансирования и повышения эффективности работ при реализации инвестиционных проектов по строительству технологических линий по производству цемента и углеподготовительных отделений с переводом действующих технологических линий производства клинкера с природного газа на уголь, инженерной и

транспортной инфраструктуры к ним. Условием оказания этим организациям господдержки является выполнение ими в 2012 г. основных целевых показателей прогноза социально-экономического развития Беларуси. Кроме того, документом предусмотрено предоставление ОАО «Сберегательный банк «Беларусбанк» гарантии правительства по кредитам Белорусского цементного завода в размере 10 млн USD и «Кричевцементношифера» – 45 млн USD, которые были выданы предприятиям для реализации инвестиционных проектов. Министерству архитектуры и строительства совместно с Государственным комитетом по имуществу предстоит обеспечить в установленном порядке увеличение доли Беларуси в уставном фонде ОАО «Красносельскстройматериалы» на сумму возмещения процентов за пользование банковскими кредитами в 2012 г.

По материалам агентства «БЕЛТА»

ИССЛЕДОВАНИЯ РЫНКОВ

**За 2007–2011 гг. объем продаж цемента глиноземистого вырос на 32%**

Спрос на глиноземистый цемент в России увеличился на 22,4%: с 22 тыс. в 2007 г. до 27 тыс. т в 2011 г. В 2008 и 2009 гг. в России наблюдалось снижение спроса на глиноземистый цемент. Это связано с тем, что в условиях кризиса наблюдалось массовое замораживание строительных объектов. Также большинство компаний по возможности заменяло дорогой глиноземистый цемент на более дешевые виды цемента. Оптовая цена на глиноземистый цемент в 2009 г. была более чем в 4 раза выше средней оптовой цены на другие виды цемента и составляла 17162,3 р. за т.

В 2007–2011 гг. доля внутренних натуральных продаж в

структуре спроса колебалась от 86% в 2007 г. до 93% в 2011 г. Соответственно доля экспорта в объеме спроса за аналогичный период времени варьировалась от 7% в 2011 г. до 14% в 2007 г. За пятилетний период 2007–2011 гг. экспорт глиноземистого цемента из России снизился с 3 тыс. до 1,9 тыс. т, что составило 37,5%.

Крупнейшими странами – потребителями глиноземистого цемента являются Казахстан, Украина и Узбекистан. В 2011 г. суммарная доля этих стран в общем объеме экспорта составила 84,6%. С 2007 по 2011 г. натуральный объем экспорта в Казахстан сократился почти на 30% (с 1082,5 до 759 т), в Украину – на 50,3% (с 1196 до 595 т). С 2008 по 2011 г. объем экспорта глиноземистого цемента в Узбекистан увеличился на 5,8% – с 240 до 254 т.

**Производители древесно-стружечных плит в России ориентируются на внутренний рынок**

Темпы роста внутреннего рынка древесно-стружечных плит OSB продолжают увеличиваться. В России к 2014 г. объем рынка составит до 100 тыс. м<sup>3</sup> в год.

Рынки стран Центральной и Западной Европы колебались в последние годы в пределах 500–800 тыс. м<sup>3</sup> плит в год. Стремительно увеличивалось потребление плит в Польше на протяжении 2000-х гг., что позволило стать ей второй страной в ЕС по объемам потребления этого материала (около 500 тыс. м<sup>3</sup>). Из других стран стоит отметить

Францию, Ирландию, Нидерланды и Великобританию, где потребление превышает 200 тыс. м<sup>3</sup> в год.

Азиатские рынки представляют большой интерес. Например, потребление OSB в Китае в ближайшие годы может достигнуть 0,5 млн м<sup>3</sup> в год. Российским производителям, которые рассматривают Китай в качестве потенциального рынка сбыта, необходимо размещать производство в азиатской части России с целью минимизации транспортных издержек.

На данном этапе объем импортируемых в Россию плит OSB составляет около 90 тыс. м<sup>3</sup>.

По материалам «РБК. Исследования рынков»

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до 3-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

### В список литературы НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

### В списках литературы ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–3 года в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и 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); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)

**Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/7>**





## Уважаемые коллеги!

На сайте издательства [www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru) в разделе «Подписка» реализован современный ресурс, который позволяет ежемесячно получать полнотекстовую версию журнала в электронном виде. Программное обеспечение в виде базы данных позволяет не только получать и читать журнал, но и структурировать информацию, создавая собственные подборки и др.

**Воспользуйтесь возможностью подписки  
на электронную версию журнала «Строительные материалы»®  
<http://ejournal.rifsm.ru/>**

### Традиционная подписка по каталогам

6 номеров журнала  
«Строительные  
материалы»®



Подписной индекс по объединенному  
каталогу «Пресса России»

**70886**

6 номеров журнала  
«Строительные  
материалы»®



Подписной индекс по каталогу  
агентства «РОСПЕЧАТЬ»

**79809**

6 номеров журнала  
«Строительные  
материалы»®



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

**61970**

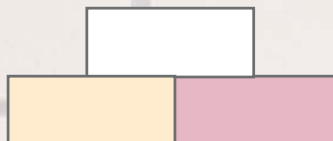


# VI Международная научно-практическая конференция **Развитие производства силикатного кирпича в России**

**СИЛИКАТ**ЭКС

**10–11 октября  
2012 г.**

**Краснодар**



## **Тематика конференции:**

- Технологии и оборудование для производства силикатного кирпича
- Сырьевые материалы, подготовка, оптимизация составов
- Зарубежный опыт производства и применения
- Новые виды силикатных материалов, использование в строительстве
- Диверсификация заводов
- Нормативная база отрасли



**Участники конференции посетят ОАО «Силикат» в г. Гулькевичи Краснодарского края**

Организатор конференции: журнал «Строительные материалы»®:

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

Генеральный спонсор конференции:



## **Оргкомитет:**

Руководитель проекта – Юмашев Алексей Борисович    Менеджер проекта – Горегляд Светлана Юрьевна  
Телефон/факс: (499) 976-22-08, 976-20-36, (916) 123-98-29  
silikatex@bk.ru    mail@rifsm.ru    www.silikatex.ru    www.rifsm.ru  
Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3,  
редакция журнала «Строительные материалы»®



ЭКОЛОГИЧЕСКИ  
ЧИСТЫЕ  
ОТДЕЛОЧНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ



## Мой здоровый дом

Гипсовая стяжка КНАУФ-Боден изготовлена из экологически чистого природного гипса, который помогает создать здоровый микроклимат в доме. Стяжка КНАУФ-Боден предназначена для выравнивания пола под любую декоративную отделку. Обладает высокой прочностью и идеально подходит для устройства обогреваемых полов.

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

**KNAUF**  
Немецкий стандарт

По вопросам крупных оптовых поставок обращайтесь в сбытовые организации КНАУФ: КНАУФ МАРКЕТИНГ Красногорск, тел. +7 (495) 937 95 95; КНАУФ МАРКЕТИНГ Санкт-Петербург, тел. +7 (812) 718 81 94; КНАУФ МАРКЕТИНГ Новомосковск, тел. +7 (48762) 29 291; КНАУФ МАРКЕТИНГ Краснодар, тел. +7 (861) 267 80 30; КНАУФ МАРКЕТИНГ Челябинск, тел. +7 (351) 771 02 09; КНАУФ МАРКЕТИНГ Челябинск, ф-л в Новосибирске, тел. +7 (383) 355 44 36; КНАУФ МАРКЕТИНГ Челябинск, ф-л в Иркутске, тел. +7 (3952) 290 032; КНАУФ МАРКЕТИНГ Челябинск, ф-л в Хабаровске, тел. +7 (4212) 31 88 33.