

Учредитель журнала:
ООО Рекламно-издательская
фирма «Стройматериалы»

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

Главный редактор
ЮМАШЕВА Е.И.

Редакционный совет:
РЕСИН В.И.

(председатель)
БАРИНОВА Л.С.
БУТКЕВИЧ Г.Р.
ВАЙСБЕРГ Л.А.
ВЕДЕРНИКОВ Г.В.
ВЕРЕЩАГИН В.И.
ГОНЧАРОВ Ю.А.
ГОРИН В.М.
ЖУРАВЛЕВ А.А.
КОЗИНА В.Л.
КРАСОВИЦКИЙ Ю.В.
КРИВЕНКО П.В.
ЛЕСОВИК В.С.
ОРЕШКИН Д.В.
ПИЧУГИН А.П.
ФЕДОСОВ С.В.
ФИЛИППОВ Е.В.
ХИХЛУХА Л.В.
ЧЕРНЫШОВ Е.М.
ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.
ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.

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

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

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

Редакция не несет ответственности
за содержание рекламы и объявлений

Адрес редакции:

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

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

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

Сырьевая база отрасли

М.Н. БАРАНОВА, С.Ф. КОРЕНЬКОВА, Н.Г. ЧУМАЧЕНКО

История освоения кремнистых пород 4

Представлены разновидности кремнистых пород, приведена информация о распространении месторождений на территории Российской Федерации и запасах кремнистого сырья. Освещены основные свойства, определяющие использование в различных отраслях. Проведен исторический экскурс освоения кремнистых пород. Представлены сведения об использовании кремнистого сырья в качестве адсорбентов, фильтровальных материалов, катализаторов, сырья для производства различных строительных материалов.

Материалы и технологии

А.П. ЗУБЕХИН, Н.Д. ЯЦЕНКО, К.А. ВЕРЕВКИН

Влияние окислительно-восстановительных условий обжига на фазовый состав железа и цвет керамического кирпича 8

Выявлена зависимость цвета керамического кирпича на основе глин с содержанием Fe_2O_3 5–7,5%, окислительного и восстановительного обжига от количества железосодержащих фаз, их состава и кристаллохимического состояния ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} , прецизионно установленных методом ядерной гамма-резонансной спектроскопии (ЯГРС).

Ф. АППЕЛЬ

Завод по производству керамических труб Saudi Vitrified Clay Pipe Co. (SVCP) в Саудовской Аравии. 12

«Боден» – сухие смеси для устройства полов 17

Ю.В. КРАСОВИЦКИЙ, Е.В. РОМАНИК, Н.В. ПИГЛОВСКИЙ,
Р.Ф. ГАЛИАХМЕТОВ, И.А. ЧУГУНОВА,

Определение оптимальной гидродинамической области эксплуатации зернистых фильтров 18

Определены реальные гидродинамические области использования зернистых слоев. Проведены эксперименты по определению экстремального значения проскока. Подобран строго регламентированный фракционный коэффициент проскока. Рассмотрены различные способы регенерации зернистых слоев, показаны их недостатки и преимущества.

Результаты научных исследований

С.В. ФЕДОСОВ, Н.Н. ЕЛИН, В.Е. МИЗОНОВ, Н.Р. ПОРОШИН

Нелинейная ячеечная модель взаимосвязанного теплового переноса в ограждающей конструкции с внутренним источником влаги. 22

Предложена нелинейная ячеечная математическая модель взаимосвязанного теплового переноса от плоской стене с внутренним источником влаги. Модель основана на записи соотношений баланса теплоты и влаги в векторно-матричной форме и учитывает зависимость локальных коэффициентов переноса от локальной температуры и влагосодержания, а также внутренний источник влаги, вызванный, например, ее конденсацией из фильтрующегося сквозь стенку пара. Приведены примеры расчета кинетики процесса.

В.И. КАЛАШНИКОВ, В.С. ДЕМЬЯНОВА, Д.В. КАЛАШНИКОВ, К.Н. МАХАМБЕТОВА

Оптимизация состава особо тяжелого высокопрочного бетона для защиты от радиации. 25

Приведен анализ и сравнение различных заполнителей для особо тяжелого высокопрочного бетона для защиты от радиации. В качестве заполнителей были применены барит, магнетит, чугунный скрап, кварцевый песок, лимонит и оптическое стекло ТФ-10. В качестве оптимального радиационно-защитного материала предложен особо тяжелый высокопрочный бетон на основе вторичных ресурсов.

В.В. РУСИНА, Е.В. КОРДА, С.А. ЛЬВОВА

Коррозионная стойкость мелкозернистых бетонов на основе техногенного сырья. 29

Установлена возможность создания на основе техногенного сырья коррозионно-стойких бетонов. Показано влияние примесей микрокремнезема на химическую стойкость предлагаемых бетонов.

Г.С. СЛАВЧЕВА, С.Н. ЧЕМОДАНОВА

Влияние параметров структуры на влажностные деформации высокопрочного модифицированного бетона. 32

Представлены результаты исследований характеристик усадки-набухания высокопрочного бетона, модифицирование структуры которого осуществляли введением добавки МБ-01 в соответствии с условиями получения промышленно применяемых составов. Показано влияние дозировки модификатора на характеристики структуры и величину влажностных деформаций бетонов.

В.Н. МИГУНОВ, И.Г. ОВЧИННИКОВ

Моделирование влияния агрессивной газовой среды на долговечность обычных железобетонных конструкций и коррозию арматуры. 35

Представлены результаты длительных натурных и лабораторных экспериментальных исследований долговечности железобетонных конструкций и коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах в газовой агрессивной среде, содержащей кислые газы.

И.Х. ИДРИСОВ, Н.И. МАКРИДИН, Д.Н. ВАЛЕЕВ

Комплексный подход к испытаниям материалов Часть 2. Идентификация параметров моделей материалов. 39

Описана методика идентификации результатов испытаний с использованием известных зависимостей. Дано сравнение результатов, полученных различными методами.

Ю.С. ВЫТЧИКОВ, В.М. ГОРИН, С.А. ТОКАРЕВА

Исследование теплофизических характеристик стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона. 42

Рассматривается приближенный метод для предварительной оценки теплопроводности фрагмента кладки из стеновых камней, который базируется на применении программного комплекса THERM 5.2. В качестве исходных данных используются экспериментальные значения коэффициентов теплопроводности материалов, полученные на основании испытаний образцов, взятых из стеновых камней. С помощью предложенного метода проведено исследование теплопроводности кладок из стеновых камней, изготовленных из беспесчаного керамзитобетона.

С.А. ПАШКЕВИЧ, С.А. ГОЛУНОВ, А.П. ПУСТОВГАР, А.О. АДАМЦЕВИЧ

Применение противоморозных добавок в базовых штукатурных составах систем фасадной скрепленной теплоизоляции. 44

Рассмотрены проблемы, связанные с поведением цементных систем при их применении в условиях действия отрицательной температуры. Приводится сравнительный анализ и методы определения эффективности различных противоморозных добавок.

А.А. ОРЛОВ, Т.Н. ЧЕРНЫХ, Л.Я. КРАМАР, Б.Я. ТРОФИМОВ

Энергосбережение при получении магнезиального вяжущего строительного назначения. 47

Рассмотрены способы получения магнезиального вяжущего при пониженной температуре обжига из бруситовой породы 3-го и 4-го сортов при применении добавок – минерализаторов и пептизаторов. Установлено, что такие добавки позволяют получать качественное магнезиальное вяжущее при температуре на 200–300°C ниже по сравнению с обжигом бездобавочной шихты. Также приведены результаты изучения свойств вяжущего низкотемпературного обжига. Проведено сравнение эффективности действия различных минерализующих и пептизирующих добавок на скорость кристаллизации оксида магния.

М.Н. МОРОЗ, В.И. КАЛАШНИКОВ, В.М. ВОЛОДИН

Гидрофобизатор для строительных материалов ПРИМ-1. 51

Рассмотрены негативные факторы влияния законсервированных хранилищ мазута на окружающую среду, а также известные способы их утилизации. Разработаны две схемы реакционного процесса получения добавки «ПРИМ-1» из смеси извести и мазута. Исследовано влияние разработанного модификатора на основные физико-технические свойства композиционных материалов. Новизна работы состоит в решении экологической проблемы консервации проливов мазута.

Ю.Г. БОРИСЕНКО, В.В. ЛЫННИК, О.А. БОРИСЕНКО

Повышение качества легких битумоминеральных композиций путем совершенствования подбора минеральных составов. 54

Приведен сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований легких битумоминеральных композиций различных зерновых составов с легкими пористыми заполнителями на основе отсевов дробления керамзита и с включением фракций керамзитового гравия. Показано, что включение в составы легких битумоминеральных композиций фракций керамзитового гравия 20–2,5 мм приводит к снижению их битумоемкости и повышению физико-механических и эксплуатационных характеристик.

В.А. УШКОВ, А.М. СЛАВИН, Г.О. МАНУХОВ, Ю.К. НАГАНОВСКИЙ

Прочность и термостойкость вторичного полипропилена, наполненного отходами гальванических производств. 56

Установлено влияние содержания смешанного железооксидного пигмента и отходов гальванических производств на прочностные и термические свойства вторичного полипропилена. Рассмотрены кривые релаксации вторичного полипропилена, наполненного 15 мас. % железооксидного пигмента. Показано, что оптимальным содержанием СЖП в качестве пигмента или минерального наполнителя в строительных изделиях на основе вторичных полиолефинов является 4 и 15 мас. % соответственно.

С.А. МАМОНТОВ, О.А. КИСЕЛЕВА

Тепловое старение пенопластов, применяемых в ограждающих конструкциях 60

Исследовано влияние теплового старения на физические и механические свойства пенопластов. Установлено, что тепловое старение в большей степени сказывается на изменении свойств пенополиуретана, чем пенополистирола. В обоих случаях происходит нарушение структуры материала, что приводит к снижению теплозащитных свойств. Полученные результаты позволят учитывать эксплуатационные факторы среды при проектировании ограждающих конструкций с применением пенопластов, что повысит их срок службы.

В.Г. ЖИТУШКИН

Зависимость расчетного сопротивления древесины от изменчивости ее свойств в дереве 62

Рассмотрены физико-технические свойства древесины в зависимости от зоны ствола. Приведены корреляционные зависимости для прочности и модуля упругости, проведено сравнение с нормативными величинами.

С.Н. АВЕЛИЧЕВА, Л.А. СЕРЕБРЯКОВА

Товарные свойства древесины, окрашенной экстрактом ореха маньчжурского 64

Приведены данные оценки товарных свойств древесины: глубина проникания красителя по сердцевинным и годичным слоям, эстетические свойства (цвет, блеск, текстура), светостойкость различных видов древесины, окрашенных экстрактом околоплодника ореха маньчжурского.

Информация**XIII Международный конгресс по химии цемента 66****Новости 70**

М.Н. БАРАНОВА, канд. техн. наук, С.Ф. КОРЕНЬКОВА,
Н.Г. ЧУМАЧЕНКО, доктора техн. наук, Самарский государственный
архитектурно-строительный университет

История освоения кремнистых пород

Кремнистые опал-кристаллитовые породы, по запасам которых Россия занимает первое место в мире, относятся к сырью многоцелевого назначения, так как обладают широким диапазоном ценных свойств. Однако интерес к изучению этих пород в настоящее время незаслуженно снизился.

В группу кремнистых пород входят осадочные породы тонкопористого сложения, состоящие из остатков панцирей диатомовых водорослей, радиолярий, спикул губок или мелких глобул опал-кристаллитовых частиц. По мнению Н.М. Страхова [1], В.И. Старостина, П.А. Игнатова [2], В.Н. Шванова [3] и др., опал в опоках и трепелах отложился первоначально биогенным и хемогенным путем. В последующем в стадии диагенеза-катагенеза происходило преобразование его с формированием глобулярной и микрозернистой структур.

К разновидностям кремнистых пород относятся диатомиты, опоки, трепелы, спонголиты, радиоляриты. Эти породы за рубежом известны под общим названием диатомитов.

Диатомиты – легкие тонкопористые породы, сложенные мельчайшими опаловыми обломками диатомовых водорослей.

Опоки – легкие плотные тонкопористые породы, состоящие из мельчайших, размером менее 0,005 мм, изометрических и неправильных частиц опал-кристаллитового состава. Характеризуются большой твердостью. Они крепкие, звонкие при ударе, с полураковистым и раковистым изломом.

Трепелы – легкие тонкопористые породы, сложенные мельчайшими бесструктурными частицами опала и кристаллита, а также глинистыми минералами. По внешнему виду напоминают диатомиты.

Спонголиты – тонкопористые породы, сложенные кремневыми спикулами губок размером 0,02–1 мм.

Радиоляриты – тонкопористые породы, сложенные опал-кристаллитовыми скелетами радиолярий размером 0,08–0,15 мм.

Кремнистые породы слагают чаще всего осадочный чехол платформенных образований и межгорные впадины складчатых областей мезокайнозойского возраста. Породы залегают в виде пластов и линз мощностью более 100 м и имеют морское, реже озерное происхождение.

В своих работах А.П. Лисицын [4] обобщил основные закономерности распределения кремнистых осадков и их связь с климатической зональностью.

Как указывали У.Г. Дистанов, В.К. Аментова и др. [5], к наиболее перспективным районам следует отнести Урало-Поволжский, где основным продуктивным горизонтом является Нижнесызранский морского происхо-

ждения. Зона преобладающего развития чистых разновидностей кремнистых пород включает в основном правобережную часть р. Волги. В северной части этой зоны широко развиты диатомиты с мощностью пласта до 70 м. Сюда входят Ульяновская, Самарская, Пензенская области и Мордовская АР.

В центральных районах Европейской части России располагаются многочисленные месторождения трепелов и опок с продуктивной толщей от 16 до 27 м. Сюда входят Московская, Владимирская, Смоленская, Брянская, Калужская, Орловская, Курская области. На севере Тюменской области почти сплошь залегают диатомиты и опоки, которые обнажаются чаще всего в виде куполов пучения.

Радиоляриты имеют сравнительно небольшое распространение и не разрабатываются. Спонголиты распространены в Белоруссии, Украине, Казахстане, Закавказье. Разрабатываются только в Казахстане для производства силикальцитовых изделий [5].

Российская Федерация располагает крупнейшей в мире базой кремнистого опал-кристаллитового сырья [5, 6]. Распределение учтенных запасов кремнистого сырья по видам горных пород и категориям представлено в таблице.

Общие запасы кремнистого сырья составляют свыше 1,6 млрд т. Наибольшие запасы приходятся на диатомиты и трепелы.

Кремнистые породы получили название вследствие высокого содержания кремнезема в составе, содержание SiO_2 в них изменяется от 50 до 90%. Вторым обязательно присутствующим оксидом является Al_2O_3 . Содержание всех остальных оксидов, объединенных в группу $(R,R_2)O$, находится в интервале от 2 до 25%. Интервалы изменения оксидов, а также максимальное и минимальное содержание их для рассматриваемых групп кремнистых пород отличается [7].

Основной фазовый состав кремнистых пород представлен тремя минералами – опалом, кристаллитом и кварцем. Преобладающий минерал – опал – аморфный кремнезем, содержание которого составляет 56–98%. Во всех кремнистых породах присутствует кварц, содержание которого может изменяться от 5 до 35%. Практически отсутствует кристаллит в диатомитах. В других разновидностях кремнистых пород содержание его может достигать 20% [7].

По Р.К. Айлеру и У.А. Диру [8], опал состоит из чрезвычайно малых частиц или пористых агрегатов с развитой внутренней поверхностью. Исследования микроструктуры, выполненные И.В. Хворовой и А.Л. Дмитрук [9], и макроструктуры кремнистых пород,

Наименование горных пород	Количество месторождений	A+B, тыс. м ³	A+B+C ₁ , тыс. м ³	A+B+C ₁ , % от общих запасов
Диатомиты	18	55484	97205	44,1
Трепелы	14	59536	98030	44,4
Опоки	4	25072	25141	11,5
Всего	36	140092	220376	100

проведенные М.Н. Барановой [7], расширили знания об их структуре.

Интерес, проявляемый к изучению кремнистых пород, определяется их свойствами. К ним следует отнести: тонкопористую структуру с развитой внутренней поверхностью; высокую химическую активность; малую плотность; низкие теплопроводность, кислото- и термостойкость. Эти особенности придают опал-кristобалитовым породам адсорбционные, фильтровальные, каталитические, связующие, теплоизоляционные и другие свойства.

Свойства кремнистых пород определяют их направления использования, объемы потребления, промышленное значение [10].

Распространение кремнистого сырья, особенности фазового состава и структуры раскрывают широкую сферу его использования в различных отраслях.

Если проводить исторический экскурс освоения кремнистых пород, то первоначально исследовались направления применения, учитывающие исходные свойства пород. В дальнейшем исследования были ориентированы на химический состав и свойства, приобретаемые при термической обработке и обжиге.

Тонкопористая структура с развитой внутренней поверхностью определяет их использование в качестве адсорбентов, фильтровальных материалов, катализаторов.

Первое промышленное использование кремнистых пород в качестве адсорбента относится к 1860 г., когда залежи диатомита в Германии были применены для адсорбции нитроглицерина. В 1866 г. А. Нобель использовал диатомит для уменьшения взрывоопасности нитроглицерина — так появился первый динамит. Позднее, с 1876 г. сырой диатомит стал использоваться в США для очистки сиропа сахарного тростника [5].

Начиная с 1937 г. стали изучаться адсорбционные свойства опок и установлена возможность широкого использования кремнистых пород в качестве адсорбентов в нефтяной, пищевой, химической промышленности, для регенерации отработанных масел.

Одним из наиболее интересных и перспективных направлений является применение диатомитов в качестве различных фильтровальных материалов. Они обладают высокой пористостью и одновременно химической стойкостью в кислых средах. Диатомиты не оказывают влияния на физико-химические свойства фильтрата и обеспечивают отделение взвесей не только механических примесей, но и коллоидных частиц, поглощают поверхностно-активные вещества.

В строительстве и стройиндустрии кремнистые породы применяются: в виде изделий (блоков, камней); продуктов дробления (щебня); продуктов помола (гидравлической добавки, наполнителей); в качестве сырья для производства спекшихся (аглопорита, спекшегося заполнителя, легковесного кирпича, стеновых и теплоизоляционных материалов), вспученных (керамзитового и кремнезольного гравия и песка) и плавящихся материалов (стекла, глазури, стеклоперлита и др.).

В строительстве сначала применяли кремнистые породы в исходном виде. Низкая плотность при достаточной прочности определяла преимущества этих пород перед другими, например песчаниками, гранитами и др. Сведения о применении диатомитов для уменьшения веса сооружений и конструкций пришла из глубокой древности еще со времен Римской империи.

Содержание в кремнистых породах аморфного кремнезема определяет их химическую активность. Данное свойство было использовано при применении этих пород в качестве гидравлических добавок. В России опал-кristобалитовые породы начали использовать в этом направлении в начале XX столетия.

Как следует из монографии И.А. Смирнова [11], с 1915 г. изучением диатомитов начал заниматься

С.И. Дружинин. На основании своих многочисленных опытов (было испытано свыше 3 тыс. образцов) он делает заключение, что «диатомиты обладают свойством обрабатывать воздушную известь в гидравлическое вяжущее вещество, способное твердеть в воде».

Мысль о применении трепелов как добавки к вяжущим веществам появилась в 1928 г. у инженера Е.В. Костырко, работающего в Государственном институте сооружений. Последующие исследования и обобщения, выполненные Е.В. Рожковой, Б.К. Воронковой, Ю.К. Горецким, были опубликованы в ряде сборников и очерков в 1934, 1939, 1945 и 1947 гг. Работы в этом направлении послужили основой для составления требований промышленности к качеству данных пород.

Самые прочные кремнистые породы — опоки используются в дорожном строительстве в качестве щебня для устройства покрытий шоссейных дорог. Щебенка из опок характеризуется значительной прочностью, особенно у окремнелых разностей.

В лакокрасочной промышленности диатомиты относятся к числу наполнителей, повышающих прочность пленки, вязкость и огнестойкость красок, а также сопротивляемость пленок трению.

В 60-е гг. XX в. на базе процессов спекания начались исследования кремнистых пород с целью использования их в качестве сырья для заполнителей бетонов. В результате этих исследований было установлено, что в кремнистых породах при получении из них заполнителей путем обжига происходит чаще спекание, реже вспучивание. Получаемый заполнитель за счет микропористости использовался в качестве теплоизоляционного материала.

Массовое строительство в период с 60-х по 90-е гг. определило основное направление применения кремнистых пород — в качестве сырья для производства заполнителей бетонов. Были проведены многочисленные и разносторонние исследования физико-технических и технологических свойств осадочных кремнистых пород. Получены и разработаны технологические параметры производства следующих видов заполнителей из кремнистых пород: вспученного пористого заполнителя (из диатомитов и трепелов); высокопрочного трепельного гравия; особо легкого заполнителя; пористого заполнителя на основе опоки; термолита (из опок); заполнителя для конструктивных бетонов; керамзита; легкого заполнителя из невспучивающегося кремнеземсодержащего сырья.

В.Н. Иваненко [12], проведя свои исследования на опоках различных месторождений, предлагает получать путем плавления и спекания следующие материалы и изделия. Из основных разновидностей кремнистых пород с добавками получают стекла разного цвета с невысокой светопропускающей способностью. Белые фарфоровидные силикатные стекла получают из карбонатных опок и трепелов. После плавления они медленно остывают, а при добавлении солей металлов дают наибольшее количество цветных стекол. Эта технология легла в основу получения глазури, стеклоперлита, кремнезольного гравия и аглопорита, а также стеклолитового цемента и цветного неглазурованного керамзитового гравия и песка.

Изучением свойств кремнистого сырья, изменений свойств при обжиге, отработкой технологических параметров получения различных заполнителей и бетонов на их основе занимались научные коллективы нескольких институтов (ВНИИСтром с 1966 по 1968 гг., ЦНИИЭПсельстроя в 1976 г., НИИКерамзит с 1980 по 1989 гг., Всесоюзного научно-исследовательского института геологии нерудных полезных ископаемых и др.) и вузов (Харьковского университета, Краснодарского политехнического института, Самарского государственного архитектурно-строительного университета и др.), а также отдельные исследователи (Б.С. Зайденберг,

Г.А. Петрихина, Г.И. Конощенко, В.К. Мухина, И.П. Миллякова и многие другие).

Первоначально (с 60-х гг.) А.А. Крупиным проведены исследования процессов вспучивания трепелов и диатомитов и разработана технология производства пористых заполнителей на их основе [13]. В дальнейшем вспучивание трепелов изучали также С.М. Суханова, Л.А. Кузнецова.

Е.Е. Звездина, М.П. Семенюк получили высокопрочный трепельный гравий. В.Н. Иваненко разработала в 1975 г. особо легкий заполнитель, а в 1977 г. совместно с А.В. Коноваленко — керамзит из кремнистых пород.

Исследования по использованию опок для производства заполнителей начали проводиться в 70-х гг. прошлого столетия. Е.П. Усанова, Г.А. Петрихина, Г.И. Конощенко исследовали процессы фазообразования и структурных изменений в опоках при обжиге [14].

Результаты исследований получения пористых заполнителей бетона на основе опоки были опубликованы в 1973 г. Т.Д. Липницкой, Р.Д. Азелицкой, А.А. Спасским [15].

В этот же период В.С. Немерцевым разработана технология получения термолита [16]. Требования к опокам для изготовления термолита определил в 1974 г. Э.С. Слуцкер.

В Краснодарском политехническом институте в 1975 г. на основе вспученного опочного заполнителя разработаны легкие бетоны [17], а в ЦНИИЭПсельстрое Е.И. Бородин разработал заполнитель для конструктивных бетонов из кремнистых пород [5].

Практически параллельно проводится изучение свойств легкого [18] и высокопрочного [19] бетонов на термолитовом гравии.

В 1976 г. коллективом сотрудников Всесоюзного научно-исследовательского института геологии нерудных полезных ископаемых в Казани под руководством У.Г. Дистанова была издана книга, в которой обобщена и систематизирована обширная информация о закономерностях распространения, условиях образования, возможностях промышленного использования и дальнейшего изучения кремнистых опаловых и опал-кристаллитовых пород [5].

Предлагается следующая схема использования кремнистых пород в строительных отраслях промышленности:

- цементная (в качестве гипсоцементного вяжущего, пуццоланового портландцемента, белого декоративного цемента, известково-трепельного вяжущего);
- теплоизоляционная (обжиговые изделия, естественные заполнители, блоки, мастичная изоляция);
- строительная (дорожное строительство, легкий наполнитель бетонов).

Многолетние исследования кремнистых пород, проведенные в НИИКерамзит, были направлены: в 1981 г. — на повышение качества заполнителя из этих пород; в 1981 г. — на отработку режимов охлаждения, повышающих прочность заполнителя; в 1984 г. — на изучение влияния отходов химической промышленности на структурообразование искусственных заполнителей из опок; в 1987 г. — на изучение влияния водонасыщенности кремнистых пород и содержания в них глины на качество термолита; в 1989 г. — на изучение структурообразования легкого заполнителя при обжиге невспучивающегося трепельного сырья и др.

Результаты проведенных работ позволили разработать нормативные документы. Были изданы указания по технологиям производства термолита из опок для конструктивных легких бетонов [20] и термолитовых заполнителей из диатомитов [21].

Многочисленные исследования этого периода освещены в обзорной информации по пористым заполнителям из опал-кристаллитовых пород, подготовленной ВНИИЭСМ [22].

Полученные данные позволили судить о возможностях промышленного их использования.

В период с 1969 по 1971 г. добыча кремнистых пород производится на карьерах перерабатывающих предприятий только на некоторых единичных месторождениях кремнистых пород [6]: цементной промышленности — 8; производства легковесного кирпича, стеновых и теплоизоляционных материалов (1969 г.) — 9; производства наполнителей, адсорбентов, катализаторов — 6.

Сюда вошли предприятия четырех экономических районов РФ: Центральный (Закеевский завод отбеливающих земель, Дабужский комбинат диатомитовых изделий), Волго-Вятский (Атемарский завод стройматериалов), Поволжский (Инзенский завод фильтровальных порошков, диатомитовый комбинат, кирпичный завод, Шарловский комбинат стройматериалов, Балашейский производственный комбинат), Уральский (Потанинский комбинат строительных материалов, Ирбитский завод строительного кирпича, Камышловский кирпичный завод).

Работами А.В. Жукова, В.С. Немерцева, В.М. Рыбалко, В.Д. Кулябина, Е.Е. Звездиной, М.П. Семенюка, Т.Д. Липницкой, А.А. Крупина, Г.А. Петрихиной, Е.И. Бородина и др. доказана принципиальная возможность получения искусственных пористых заполнителей из кремнистых пород. Однако действующие на тот момент предприятия использовали в качестве сырья преимущественно трепелы с пластической подготовкой полуфабриката по керамзитовой технологии.

Начиная с 80-х гг. XX в. всестороннее исследование более 50 месторождений опок, трепелов и диатомитов было выполнено в ОАО «НИИКерамзит» и на кафедре строительных материалов Самарского государственного архитектурно-строительного университета. Особое внимание в этих работах было уделено исследованию структурно-фазовых температурных превращений, происходящих при обжиге и охлаждении опал-кристаллитовых пород [23]. Выполненные исследования позволили рекомендовать использование кремнистого сырья для получения пористых заполнителей с заданными свойствами.

Таким образом, перечисленные кремнистые породы (диатомиты, трепелы, опоки) относятся к числу природных ископаемых, обладающих широким диапазоном ценных свойств, что определяет разносторонние пути применения в народном хозяйстве.

Научное теоретическое обоснование применения кремнистых пород для производства различных строительных материалов, отработанные технологии, а также значительные запасы и широкая распространенность по Российской Федерации позволяют прогнозировать перспективность использования их в настоящее время.

Дальнейшее всестороннее изучение кремнистых опал-кристаллитовых пород, несомненно, будет способствовать не только более эффективному их использованию в существующих направлениях, но и выявлению новых путей применения в народном хозяйстве, позволит занять диатомитам, опокам, трепелам достойное место в ряду нерудных полезных ископаемых России.

Ключевые слова: *кремнистые породы, запасы, свойства; применение диатомитов, опок, трепелов.*

Список литературы

1. *Страхов Н.М.* Типы литогенеза и их эволюция в истории земли. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1963. 535 с.
2. *Старостин В.И., Игнатов П.А.* Геология полезных ископаемых: учебник для высшей школы. М.: Академический Проект, 2004. 512 с.
3. *Шванов В.Н.* Структурно-вещественный анализ осадочных формаций (начала литомографии). — СПб.: Недра, 1992. 230 с.

4. *Лисицын А.П.* Основные закономерности распределения кремнистых осадков и их связь с климатической зональностью. Геохимия кремнезема. М.: Наука, 1966. 424 с.
5. Кремнистые породы СССР / отв. ред. У.Г. Дистанов. Казань: Татарское кн. изд-во, 1976. 412 с.
6. Баланс запасов полезных ископаемых СССР. Кремнистое (опал-кristобалитовое) сырье. М.: Союзгеолфонд, 1984. Вып. 86. 213 с.
7. *Баранова М.Н.* Возможности получения заполнителей бетонов из кремнистых пород / Новые технологии строительного производства и систем транспортирования газа: Труды Самарского филиала секции Строительство РИА. Вып. 4. Самара, 1996. С. 169–174.
8. *Айлер Р.* Химия кремнезема. М.: Мир, 1982. С. 545–555.
9. *Хворова И.В., Дмитрук А.Л.* Микроструктуры кремнистых пород. М.: Наука, 1972. 84 с.
10. Пленкин А.П. Исследование опал-кristобалитовых пород в производстве строительных материалов и природных сорбентов // Опалиты Западной Сибири. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1987. 154 с.
11. *Смирнов И.А.* Известково-диатомовое вяжущее вещество. Смоленск: ОГИЗ, 1931. 40 с.
12. *Иваненко В.Н.* Строительные материалы и изделия из кремнистых пород. Киев: Будівельник, 1978. 120 с.
13. *Крупин А.А.* Искусственные пористые заполнители из кремнистых опаловых пород // Строительные материалы. 1975. № 8. С. 7–8.
14. *Усанова Е.П., Петрихина Г.А., Коношенко Г.И.* Исследование процессов фазообразования и структурных изменений в опоках при обжиге с целью возможности их использования для получения пористых заполнителей // Сб. тр. ВНИИСтром. Вып. 46 (74). М., 1982. С. 32–36.
15. *Липницкая Т.Д., Азелицкая Р.Д., Спасский А.А.* Пористые заполнители бетона на основе опоки // Строительные материалы. 1973. № 3. С. 24–25.
16. *Немерцев В.С., Рыбалко В.М., Калябин В.Д.* Производство и применение индустриальных конструкций из термолитобетона в сельском строительстве (на примере Владимирской области) // Обзор ЦНИИЭПсельстрой. М., 1971. 44 с.
17. *Липницкая Т.Д.* Вспученный опочный заполнитель и легкие бетоны на его основе // Эффективные легкие строительные материалы на базе местного сырья Краснодарской области: Труды Краснодарского политехнического ин-та. Вып. 80. 1975. С. 8–13.
18. *Кудрявцев А.А., Романов Ю.М., Цветаева Р.А.* Свойства легкого бетона на термолитовом гравии // Бетон и железобетон. 1977. № 1. С. 22–27.
19. *Кудрявцев А.А., Романов Ю.М., Числов В.И., Цветаева Р.А.* Высокопрочный бетон на термолитовом гравии // Бетон и железобетон. 1980. № 9. С. 45–49.
20. *Волчек Л.Л., Шаль Б.В., Баранова М.Н.* Указания по технологии производства термолита из опок для конструкционных легких бетонов. Куйбышев: НИИКерамзит 1983. 22 с.
21. *Петров В.П., Волчек Л.Л., Шаль Б.В., Баранова М.Н.* Указания по технологии производства термолитовых заполнителей из диатомитов. Куйбышев: НИИКерамзит, 1986. 21 с.
22. Пористые заполнители из опал-кristобалитовых пород: Обзорная информация ВНИИЭСМ. Серия 4. Вып. 1. М., 1985. 55 с.
23. *Онацкий С.П., Волчек Л.Л., Баранова М.Н.* Структурно-фазовые превращения при обжиге кремнистого сырья // Сб. тр. ВНИИСтром. Вып. 13. 1981. С. 21–29.



ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

С 1953 года ПГТУ подготовил более 118 тысяч специалистов с высшим профессиональным образованием для отраслей разведки и разработки полезных ископаемых; энергетики; металлургии; машиностроения; авиационной и ракетно-космической техники; автоматики и управления; химической и биотехнологии; связи; строительства и др.

АВТОДОРОЖНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

Подробности на сайте www.pstu.ru

614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а

Тел./факс: +7 (342) 2-391-492

E-mail: dkadf@pstu.ac.ru

А.П. ЗУБЕХИН, д-р техн. наук, Н.Д. ЯЦЕНКО, канд. техн. наук,
К.А. ВЕРЕВКИН, инженер, Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск Ростовской обл.

Влияние окислительно-восстановительных условий обжига на фазовый состав железа и цвет керамического кирпича

В условиях рыночной экономики важнейшим фактором эффективности производства различных товаров является их конкурентоспособность. Основными условиями ее обеспечения является энерго-, ресурсосбережение и высокое качество продукции.

В технологии производства лицевого керамического кирпича необходимо обеспечить его высокие физико-технические строительные и эстетико-эксплуатационные свойства, характеризуемые одним из важных показателей – цветом. В современном архитектурно-строительном дизайне исключительно большое внимание уделяется созданию гармоничной полихромии фасадов зданий и сооружений [1].

Несмотря на многочисленные опубликованные работы [2, 3], до настоящего времени нет конкретных данных о зависимости цвета от фазового и кристаллохимического состояния железа, являющегося основным хромофором в керамическом кирпиче.

Известно, что керамический кирпич, полученный на основе маложелезистых глин ($Fe_2O_3 = 2-4\%$), при обжиге в окислительной среде имеет, как правило, светло-желтый, желтый цвета, а на основе красножущихся глин с повышенным содержанием $Fe_2O_3 \geq 5\%$ – красный, красно-коричневый. Обжиг в восстановительной среде значительно влияет на цвет кирпича, закономерности изменения которого весьма противоречивы и недостаточно изучены.

Целью данной работы являлось установление зависимости изменения фазового и кристаллохимического состояния железа в керамическом кирпиче от среды обжига и его влияние на цвет с применением комплекса физико-химических методов исследований – рентгено-фазового анализа (РФА) и прецизионного и избирательного к железу в различных кристаллических и стеклообразных фазах метода ядерной гамма-резонансной спектроскопии (ЯГРС) [4].

Для получения более объективных и достоверных данных исследования проводили на глинах различного химико-минералогического состава с повышенным содержанием оксидов железа в пересчете на Fe_2O_3 от 5 до 7,5% следующих месторождений: Каркинского (г. Кирово-Чепецк), Белкинского (г. Калининград), Верх-Тулинского (г. Новосибирск),

Обидимского (г. Тула). Химические составы глин приведены в табл. 1.

Глины характеризуются следующим минералогическим составом: каркинская и обидимская преимущественно монтмориллонито-каолиновые с примесями гидрослюда – 6%; белкинская и верх-тулинская соответственно гидрослюдисто-каолиновая и гидро-

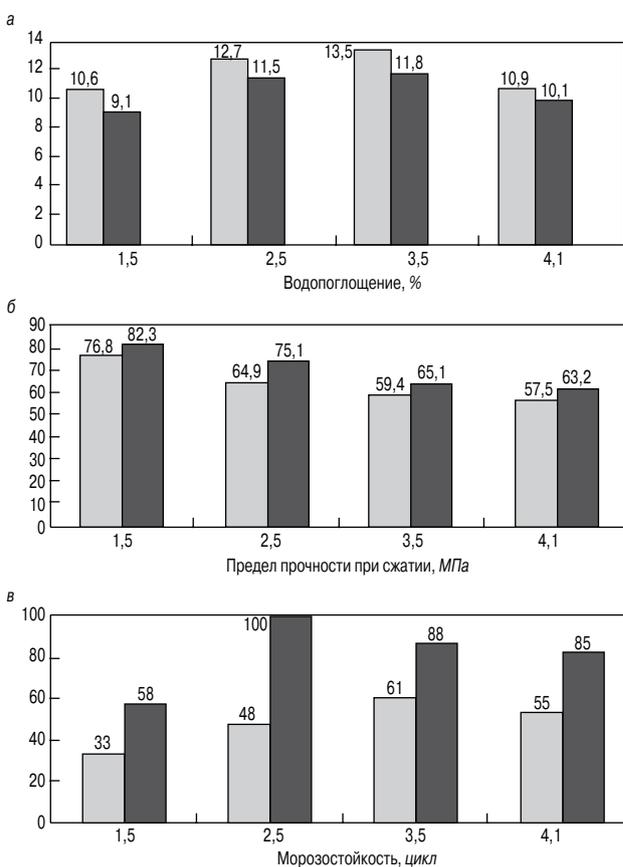


Рис. 1. Зависимость водопоглощения (а), предела прочности при сжатии (б), морозостойкости (в) образцов, обожженных при температуре 1000°С – в окислительной □ и 950°С – в восстановительной средах ■

Таблица 1

Наименование месторождения глин	Массовая доля компонентов глин, мас. % *											
	SiO ₂ / SiO ₂ св.	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Сумма
Каркинское	64,91/38	13,82	0,8	7,45	1,16	1,65	0,01	1,6	1,75	0,12	6,65	99,92
Белкинское	51,25/12,2	15,5	0,86	7,02	6,32	2,25	0,06	0,94	4,11	0,16	11,5	99,97
Верх-Тулинское	62,75/36	13,2	0,75	6,22	3,98	2,11	0,05	1,52	2,25	0,19	6,9	99,92
Обидимское	71,85/45,4	12,85	0,64	5,04	0,69	0,91	0,01	0,37	1,86	0,11	5,6	99,96

* Далее в статье количество веществ приведены также в мас. %.

Таблица 2

Код образца	Среда обжига	Содержание в керамической массе, %			Наличие фаз							Цвет
		Fe ₂ O ₃	CaO	R ₂ O (Na ₂ O, K ₂ O)	β-кварц	Гематит, α-Fe ₂ O ₃	Анортит, альбит, ортоклаз	Рентгеноаморфные		Фаялит, Fe ₂ SiO ₄	Fe ₃ O ₄	
								стеклофаза	метакаолинит			
1.5	Окислительная	7,45	1,16	5	+	+	+	+	+	-	-	Красно-коричневый
	Восстановительная				+	-	+	+	+	+	-	Черно-серый
2.5	Окислительная	7,02	6,32	7,3	+	+	+	+	+	-	-	Красно-коричневый (темный)
	Восстановительная				+	-	+	+	+	+	-	Черный
3.5	Окислительная	6,22	3,98	5,88	+	+	+	+	+	-	-	Красно-коричневый
	Восстановительная				+	-	+	+	+	+	-	Черный
4.1	Окислительная	5,04	0,69	3,14	+	+	-	+	+	-	-	Светло-коричневый
	Восстановительная				+	-	-	+	+	+	-	Темно-коричневый

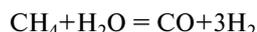
слюдисто-монтмориллонито-каолинистая. Последние две глины содержат CaCO₃ в количестве 6%.

Приготовленные керамические массы содержали: глины – 80%, кварцевый песок – 20% (в массы из обидимской глины песок не вводили, так как глина включает повышенное количество свободного кремнезема).

Обжиг лабораторных (малых) образцов проводили в обычной и сильновосстановительной газовой средах при температуре 950, 1000 и 1050°C для установления оптимальной температуры, обеспечивающей получение керамического камня, отвечающего требованиям ГОСТ 530–2007.

Сильновосстановительная среда создавалась на стадии спекания за счет недожога метана CH₄ при коэффициенте избытка воздуха α<1.

При этом в газовой смеси с парами H₂O образуются восстановители CO и H₂ за счет конверсии CH₄ по реакции:



с последующим их сжиганием в печи.

В результате исследований установлено следующее.

Завершение процесса спекания и формирования структуры образцов достигается при температуре обжи-

га, °С: 1000 – при окислительном и 950 – при восстановительном с изотермической выдержкой 3 ч, при которых обеспечиваются наилучшие показатели свойств на оптимальных керамических массах на основе исследуемых глин 1.5; 2.5; 3.5 и 4.1 (рис. 1).

Снижение температуры спекания образцов с 1000 до 950°C при применении восстановительного обжига обеспечивает энергосбережение – уменьшение расхода топлива.

Результаты РФА и цвета образцов представлены в табл. 2. Как видно, цвет всех образцов керамического камня окислительного обжига – от красно-коричневого до светло-коричневого в зависимости от количества Fe₂O₃.

При этом, по данным РФА, железосодержащие фазы представлены α-Fe₂O₃, обуславливающим красно-коричневый цвет кирпича.

Наличие кристаллических фаз: β-кварца, гематита, анортита (или других полевых шпатов), сцементированных стеклофазой в структуре черепка, обеспечивает его физико-механические свойства.

При восстановительном обжиге содержание бесцветных кристаллических фаз с наличием, как и при окислительном обжиге, рентгеноаморфных метакаолинита и стеклофазы практически не изменилось. Из же-

Таблица 3

Код образца	Количество Fe ₂ O ₃ , %	Среда обжига	Вид спектра	Параметры ЯГРС, мм/с			Н эфф., КЭ	Кристаллографическая позиция иона Fe	Доля иона Fe, %	Фазовое состояние Fe
				δ	ΔE ₀	Γ				
1.5	7,5	Окислительная	секстет 1	0,373	-0,212	0,559	500,1	[Fe ³⁺ O ₆] ⁹⁻	38,65	α-Fe ₂ O ₃
			дублет 1	0,281	0,661	0,594	-	[Fe ³⁺ O ₄] ⁵⁻	52,19	в стеклофазе
			дублет 2	0,329	0,783	0,566	-	[Fe ³⁺ O ₆] ⁹⁻	9,16	в метакаолине
		Восстановительная	секстет 1	0,369	-0,191	0,733	498,3	[Fe ³⁺ O ₆] ⁹⁻	25,71	α-Fe ₂ O ₃
			секстет 2	0,26	0	0,733	460	[Fe ³⁺ O ₄] ⁵⁻	5,61	Fe ²⁺ Fe ³⁺ O ₄ (Fe ₃ O ₄)
			секстет 3	0,67	0	0,733	449,2	[Fe ²⁺ O ₆] ¹⁰⁻	6,45	
			дублет 1	0,293	0,635	0,594	-	[Fe ³⁺ O ₆] ⁵⁻	33,07	в стеклофазе
			дублет 2	0,302	0,714	0,590	-	[Fe ³⁺ O ₆] ⁹⁻	20,54	в метакаолине
			дублет 3	0,849	1,736	0,642	-	[Fe ²⁺ O ₆] ¹⁰⁻	8,62	Fe ₂ SiO ₄ -фаялит
3.5	6,22	Окислительная	секстет 1	0,376	0,206	0,518	508,2	[Fe ³⁺ O ₆] ⁹⁻	70,98	α-Fe ₂ O ₃
			дублет 1	0,231	1,685	0,566	-	[Fe ³⁺ O ₄] ⁵⁻	6,78	в стеклофазе
			дублет 2	0,329	0,783	0,566	-	[Fe ³⁺ O ₆] ⁹⁻	22,24	в метакаолине
		Восстановительная	секстет 2	0,328	-0,042	0,724	480	[Fe ³⁺ O ₄] ⁵⁻	16,93	Fe ²⁺ Fe ³⁺ O ₄ (Fe ₃ O ₄)
			секстет 3	0,567	-0,005	0,724	436,2	[Fe ²⁺ O ₆] ¹⁰⁻	9,06	
			дублет 1	0,411	0,781	0,776	-	[Fe ³⁺ O ₄] ⁵⁻	21,24	в стеклофазе
			дублет 2	1,102	2,072	0,657	-	[Fe ²⁺ O ₆] ¹⁰⁻	52,77	Fe ₂ SiO ₄ -фаялит

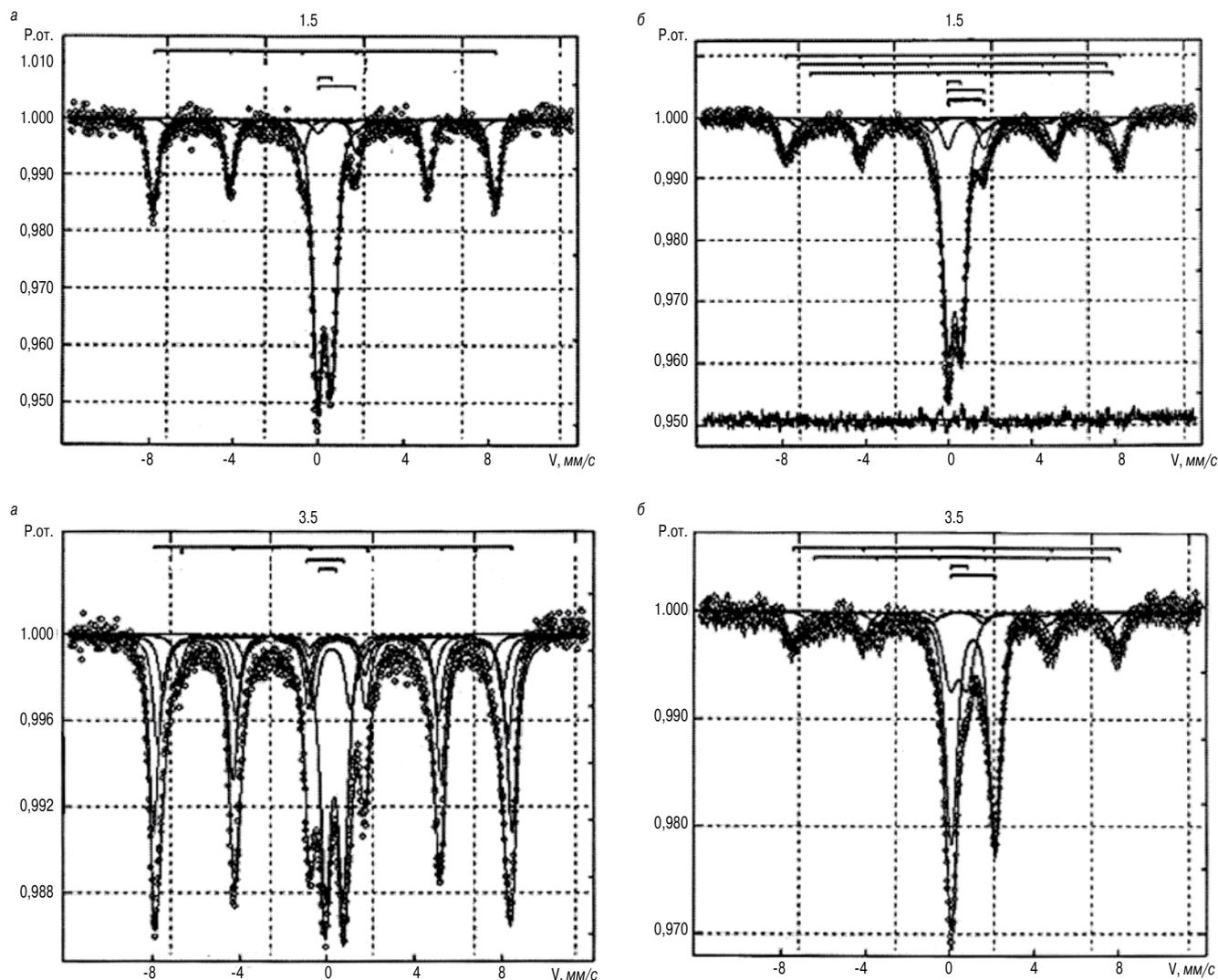
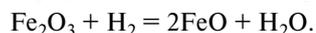
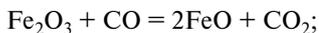


Рис. 2. ЯГР-спектры кирпича 1.5; 3.5, обожженного в среде: а – окислительной; б – восстановительной

лезосодержащих фаз идентифицированы лишь фаялит $\text{Fe}_2^+\text{SiO}_4$. Ни гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, ни магнетита Fe_3O_4 в образцах не обнаружено, что не соответствует действительности. Это следует объяснить следующим.

В восстановительной среде с CO и H_2 происходит частичное восстановление Fe_2O_3 до FeO по реакциям:



FeO , взаимодействуя с Fe_2O_3 и SiO_2 , образует феррошпинель $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^+\text{O}_4$ – магнетит (Fe_3O_4) черного цвета и фаялит $\text{Fe}_2^+\text{SiO}_4$ от желтого до оливково-зеленого цвета [5]. Наличие в керамическом камне магнетита в комплексе с гематитом и фаялитом обуславливает его черный или темно-коричневый до черного цвет. Кроме того, при взаимодействии Fe_2O_3 с метакаолинитом $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ и алюмосиликатами возможно образование Fe -содержащих твердых растворов, а также частичное растворение Fe_2O_3 в образующемся при спекании алюмосиликатном расплаве с фиксацией ионов Fe^{3+} в структуре стеклофазы [3]. Эти процессы приводят к усилению окраски керамического кирпича до черного цвета. Уменьшение относительной концентрации оставшегося в свободном состоянии $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ из-за образования новых железосо-

держащих фаз приводит к уменьшению количества каждой кристаллической фазы в отдельности, что обуславливает невозможность их идентификации методом РФА.

Следовательно, РФА не дает достоверной информации не только о кристаллохимическом состоянии ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} в рентгеноаморфных фазах, но и о содержании кристаллических фаз при ограниченном количестве железа в образцах.

Результаты исследования методом ЯГРС, проведенного в лаборатории ядерной физики МГУ (Москва), полностью подтверждают вышеизложенное о кристаллохимическом и фазовом состоянии Fe в исследуемых образцах. В связи с ограниченностью объема статьи и однотипностью спектров ЯГРС и характеристик Fe в различных фазах керамического камня рассмотрим данные наиболее характерных образцов составов 1.5 и 3.5, содержащих повышенное количество Fe_2O_3 .

ЯГР-спектры этих образцов (рис. 2) характеризуются наличием в них как при обжиге в окислительной, так и в восстановительной среде, кроме образца 3.5, сектета 1, параметры ЯГРС которого, рассчитанные на ЭВМ, соответствуют фазе $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Кроме того, в образцах 1.5 и 3.5 окислительного обжига идентифицированы дублеты 1 и 2, соответствующие ионам Fe^{3+} в виде комплексов $[\text{FeO}_4]^{3-}$ в стеклофазе $[\text{FeO}_6]^{9-}$ и в структуре мета-

каолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, являющегося псевдорентгеноаморфным (табл. 3).

В образце 1.5 восстановительного обжига (рис. 2, б) ионы Fe^{2+} в количествах 6,45 и 8,62% входят соответственно в состав магнетита (секстет 3) $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$ (Fe_3O_4), который включает и 5,61% $[\text{Fe}^{3+}\text{O}_4]$ (секстет 2), и фаялита $\text{Fe}_2^{2+}\text{SiO}_4$ (дублет 3). Следовательно, степень восстановления Fe_2O_3 до FeO составляет 15,07%. Остальное количество Fe^{3+} остается в виде комплексных анионов $[\text{Fe}^{3+}\text{O}_6]^{9-}$ в количестве 25,71% в составе гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (секстет 1) и 20,54% в структуре метакаолинита (дублет 2), а также 33,07% анионов $[\text{Fe}^{3+}\text{O}_4]^{5-}$ в стеклофазе (дублет 1) (табл. 3).

Степень восстановления Fe_2O_3 до Fe^{2+} в образце 3.5 (рис. 2, б) составляет 61,83%, из которых Fe^{2+} в виде аниона $[\text{Fe}^{2+}\text{O}_6]^{10-}$ (секстет 3) входит в состав магнетита $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$ (Fe_3O_4), включающего 16,93% $[\text{Fe}^{3+}\text{O}_4]^{5-}$ (секстет 2), а 52,77% $[\text{Fe}_2^{2+}\text{O}_{10}]^{10-}$ (дублет 2) образует фаялит.

В связи с высокой степенью восстановления в образце отсутствует гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, а оставшаяся часть Fe^{3+} в количестве 21,24% входит в структуру стекла в виде аниона $[\text{Fe}^{3+}\text{O}_4]^{5-}$ (дублет 1).

На основе полученных данных выявлена зависимость цвета керамического кирпича на основе глин с повышенным содержанием $\text{Fe}_2\text{O}_3=5-7,5\%$ от среды обжига, фазового и кристаллохимического состояния железа.

Впервые в технологии керамики с помощью метода гамма-резонансной спектроскопии (ЯГРС) получены прецизионные данные по количественному фазовому распределению Fe в виде гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, магнетита $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$ (Fe_3O_4), фаялита $\text{Fe}_2^{2+}\text{SiO}_4$ и кристаллохимическому состоянию ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} в этих и рентгеноаморфных фазах (метакаолините и стеклофазе) в керамическом камне в зависимости от условий обжига.

Установлено, что при обжиге в окислительных условиях цвет кирпича красный, красно-коричневый, обусловленный главным образом гематитом $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ красного цвета. При восстановительном обжиге цвет кирпича темно-коричневый, черный, что предопределяется образованием феррошпинелей, содержащих ионы Fe^{2+} и Fe^{3+} , главным образом магнетита $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$ (Fe_3O_4) черного цвета в комплексе с фаялитом и гематитом.

Ключевые слова: фазовый состав, кристаллохимическое состояние железа, глина, керамический кирпич, окислительная, восстановительная среда обжига; параметры ядерной гамма-резонансной спектроскопии.

Список литературы

1. Зубехин А.П., Голованова С.П. Белый поргландцемент, его роль в архитектурно-строительном дизайне, производство и применение // Цемент и его применение. 2010. № 3. С. 35–37.
2. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Филатова Е.В., Боляк В.Н., Веревкин К.А. Влияние химического и фазового состава на цвет керамического кирпича // Строительные материалы. 2008. № 4. С. 31–33.
3. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Филатова Е.В., Боляк В.Н., Веревкин К.А. Керамический кирпич на основе различных глин: фазовый состав и свойства // Строительные материалы. 2010. № 11. С. 47–49.
4. Зубехин А.П., Голованова С.П., Кирсанов П.В. Белый поргландцемент: монография. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2008. 263 с.
5. Штробель Г., Циммер З.Х. Минералогический словарь. М.: Недра, 1987. 494 с.



**ФРЕЙМАТИК –
ШВЕЙЦАРСКАЯ
НАДЕЖНОСТЬ!**



FREYMATIC AG
CH-7012 Felsberg/Switzerland
www.freymatic.com

Представительство ФРЕЙМАТИК АГ в России:
ЗАО «ЦезРеф», 127055, Москва,
ул. Лесная, д.43, стр.1, оф. 224, 225
Тел. (499) 978-28-47 / Тел./факс (499) 978-28-73
main@cesref.ru / www.cesref.ru

удк

Ф. АППЕЛЬ, дипл. инженер, фирма «ЛИНГЛ» (Hans Lingl Anlagenbau und Verfahrenstechnik, Германия)

Завод по производству керамических труб Saudi Vitrified Clay Pipe Co. (SVCP) в Саудовской Аравии

В королевстве Саудовская Аравия уже длительное время ведется активное строительство во всех секторах. При этом широкое применение находят керамические строительные материалы, в частности кирпич и черепица.

Техническая политика страны направлена на минимизацию импорта строительных материалов и развитие собственного производства. Фирма «ЛИНГЛ» является партнером Саудовской Аравии уже в течение 30 лет. За это время были поставлены машины и установки на такие предприятия, как Yamama, El Maimani, Khaayatt и Saudi Red Bricks.

В июне 2006 г. фирма «ЛИНГЛ» получила очередной заказ на поставку оборудования для нового завода по производству керамических труб от фирмы Saudi Vitrified Clay Pipe Corporation. В начале 2008 г. завод начал выпускать продукцию. Он расположен к северу от Эр-Рияда, столицы Саудовской Аравии. Производительность предприятия 1000–1200 т керамических труб в неделю. Размеры серийных труб – длина до 2 м и диаметр до 1,2 м. Выпускаются также специальные трубы и оснастка на дополнительной линии, включающей три печи с выдвигным подом. Таким образом, годовая производительность предприятия составляет около 85 тыс. т продукции.

Фирма «ЛИНГЛ» поставила для этого проекта сушилку проходного типа, туннельные печи и другое оборудование.

Заказ получен благодаря не только хорошей репутации фирмы в Саудовской Аравии, но и большому опыту в области производства керамических труб. Всего фирма «ЛИНГЛ» построила 12 туннельных печей для обжига керамических труб в разных странах мира.

В Саудовской Аравии керамические трубы более популярны для отвода сточных вод, чем трубы из бетона или пластмассы. Канализационные трубы должны выдерживать в течение десятилетий сильное химическое воздействие и высокую механическую нагрузку. Трение о стенки должно быть минимальным, чтобы сделать возможным движение сточных вод даже при небольшом уклоне.

Керамические трубы подходят для этого лучше всего. Благодаря обжигу и дополнительно нанесенной на стенки труб глазури изделия становятся устойчивыми к воздействию кислот и щелочей, приобретают высокую механическую прочность, низкую пористость, гладкую поверхность и высокую твердость.

По сравнению с канализационными трубами из бетона керамические трубы имеют много преимуществ. Сточные воды с промышленными и бытовыми химическими отходами очень агрессивны. В отложениях, находящихся под водой, образуется сероводород. Образующийся при этом газ попадает в пространство над водой и превращается бактериями в серную кислоту, которая постепенно

разрушает трубу. В то же время гуминовые кислоты в большинстве почв разъедают трубу снаружи. Керамические трубы устойчивы к действию этих кислот.

Перед началом строительства завода специалисты фирмы «ЛИНГЛ» провели лабораторные испытания сырья и обнаружили в нем большое количество солей. Кроме того, в высушенных заготовках остается относительно высокая доля химически связанной воды. Эти особенности были учтены при разработке технологии, проектировании завода и комплектации оборудования.

Технология от пресса до печи

Подготовленная сырьевая смесь экструдирована вертикальными прессами. Затем автоматы сажают сформованные трубы на сушильные тележки, которые для всего завода имеют одинаковые размеры, независимо от того, какого диаметра трубы на них сушатся (рис. 1).

Обе системы сушилок (рис. 2) имеют одинаковую технику для проветривания, которая позволяет нагнетать воздух реверсивной вертикальной струей сквозь трубы и вдоль них в обоих направлениях. Таким образом, можно сокращать время сушки у основных форматов. Процесс сушки полностью автоматизирован. Для этого применяется система управления процессом LINGL с программным обеспечением Win CC и аппаратными компонентами Siemens.



Рис. 1. Сушильная тележка с различными трубами



Рис. 2. Туннельная сушилка с сопловым дном



Рис. 3. Высушенные трубы перед дальнейшей обработкой



Рис. 4. Емкость для глазурирования



Рис. 5. Процесс глазурирования



После сушки (рис. 3) автоматическое оборотное устройство вагонеток транспортирует трубы на пост глазурирования (рис. 4). Там трубы окунают в бассейн с глазурью (рис. 5), а затем размещают на печные вагонетки (рис. 6). Сушка глазури осуществляется в предпечи.

С помощью упомянутой системы управления специалисты предприятия наблюдают за процессами в туннельной печи.

Печь с шириной обжигового канала от 5,6 м и высотой канала 2,6 м (рис. 7) снабжена боковыми горелками для обжига, так как в туннельных печах для керамических труб невозможно образование горячих газов. Вне зависимости от диаметра труб печные вагонетки всегда загружаются полностью по всей площади, таким образом обеспечивается оптимальное использование объема печи (рис. 8).

Температура обжига составляет примерно 1300°C. Чтобы избежать трещин в глазури, ее состав подбирается так, чтобы КТЛР керамического камня и глазурного покрытия были максимально близки. Большое значение для получения качественных изделий имеет равномерный температурный профиль в печи, который обеспечивается системами циркуляции горячих газов перед и после зоны обжига.

Туннельная печь, сушилка проходного типа, печь с выдвигаемым подом и камерные сушилки управляются и регулируются полностью автоматически. Комплекс сушилка-печь также полностью автоматизирован.

Хотя инвесторы Саудовской Аравии заинтересованы в том, чтобы получить самую современную технику управления и автоматического регулирования, а также самые современные системы управления процессами для технологического оборудования, тем не менее доля ручного труда на предприятиях, как правило, выше, чем в Европе. Это характерно также для завода SVCP. Вся циркуляция вагонеток для сушилки проходного

типа и туннельной печи, а также для камерных сушилок и печей с выдвигаемым подом осуществляется вручную.

При проектировании разделенных процессов, производимых вручную и в автоматическом режиме, стало дополнительной проблемой, так как автоматически работающие системы должны самостоятельно реагировать на производство периодического действия вручную. Например, если предоставляется слишком мало нагруженных печных вагонеток и сушильных тележек, то это вызывает не только появление предупредительного сигнала, но и переводит агрегаты в безопасный режим. После восстановления необходимой скорости толкания режим автоматически восстанавливается.

Контроль качества

После обжига керамические трубы подвергаются тщательному контролю качества. Только прямые трубы и трубы с незначительными искривлениями являются первым сортом. Искривленные трубы бракуются. Для контроля кривизны труб на заводе SVCP применили оригинальное решение: обожженные трубы кладут на поверхность с незначительным уклоном. Недопустимые искривления обнаруживают путем перекачивания изделий по поверхности.

Изоляция керамических труб

Чтобы построить функциональную канализационную систему, отдельные трубы должны присоединяться с помощью изолирующих материалов к канализационной линии. Соединение труб должно быть герметичным при внутреннем и внешнем избыточном давлении примерно до 0,5 бар постоянно.

Отклонения трубы от прямых линий до 1,7° (соответствует 30 мм/м) до номинальной ширины DN 500 компенсируются изоляцией.

Изоляция не должна повреждаться корневой системой окружающей растительности.



Рис. 6. Садчик



Рис. 7. Въезд в печь



Рис. 8. Трубы перед обжигом на садочных кольцах

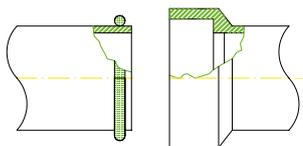


Рис. 9.

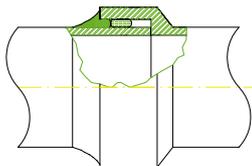


Рис. 10.

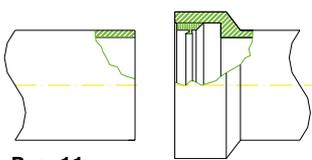
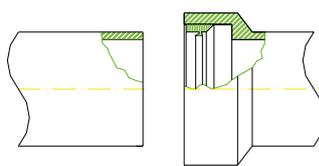


Рис. 11.

Материал изолирующих элементов не должен подвергаться воздействию растительных, животных организмов и микроорганизмов.

Изоляционные материалы должны быть устойчивы к химическим воздействиям в области рН 2-12.

Изоляция должна полностью выполнять свою функцию в интервале температуры от -10 до +70°C.

Чтобы обеспечить постоянное герметичное соединение, изоляция должна сохранять свои свойства длительное время.

Эти требования выполняются различными системами изоляции. Приведем наиболее распространенные.

Заливная изоляция

Заливка муфты на стройплощадке представляет собой простую, надежную и вполне достаточную систему изоляции. На стройплощадке свободный конец трубы обматывается просмоленным канатом. Диаметр каната должен быть боль-

ше, чем зазор между трубой и муфтой, с тем чтобы при движении конца трубы в муфту возникало напряжение поверхности и происходило уплотнение. Дополнительно место изоляции заливается подогретым битумом. Таким образом, повышается надежность изоляции от механического или химического повреждения (рис. 9).

Изоляция с помощью клеящихся материалов

Изоляция с помощью эластичного каучука может применяться только до номинального диаметра трубы 200 мм, так как при больших диаметрах труб давление слишком высокое, чтобы обеспечить герметичную изоляцию. Клеевая изоляция требует дополнительной технологической операции на заводе-изготовителе после обжига и перед упаковкой. При этом уплотнители просто клеят в муфту.

При сдвигании труб прокладки придавливаются и таким образом уплотняются (рис. 10).

Литые изоляционные элементы из пластмасс

При большом номинальном диаметре труб подходят уплотнители из вспененного полиуретана. Этот технологический процесс должен осуществляться в кондиционируемом помещении. Вспенивают прокладочные кольца на муфте и на конце трубы.

При сдвигании труб прокладки придавливаются и таким образом происходит уплотнение (рис. 11).

Заключение

В лице завода SVCP фирма «ЛИНГЛ» получила заказчика, сотрудничество с которым отличалось взаимопониманием. Итогом совместной работы стала продукция высокого качества (рис. 12).

В 2008 г. импорт Саудовской Аравии из ФРГ составил 5,19 млрд евро. Фирма «ЛИНГЛ» из Крумбах гордится своей причастностью к этому результату.



Рис. 12. Готовые изделия на складе



Hans-Lingl Anlagenbau und Verfahrenstechnik GmbH & Co.KG
 Нордштрассе, 2
 D-86370 Крумбах
 Телефон +49 (0)82 82/825-0
 Факс +49 (0)82 82/825-401
 Mail: f.appel@lingl.com
 Info: www.lingl.com

Творчество – это совершенствование своих достижений

С новыми совершенными настраиваемыми комплектами сменных режущих деталей компания Фрейматик АГ решила задачу, оказавшуюся непосильной для производителей многострунных резчиков. Это – простая и быстрая установка режущей длины и количества продукта.

Инновационным решением является установка держателей режущих струн на направляющих полозьях, позволяющая легко отрегулировать расстояние между струнами. Кроме того, амортизирующие устройства натяжителей многократно увеличивают срок службы режущих струн. Режущие столы также легко регулируются, а пластины стола являются сменными деталями с быстрой заменой и фиксацией.

Как определить истинное положение струн, столов и пластин?

Фрейматик разработал для этого специальный инструмент настройки для установки сменных режущих деталей. Фиксирующее устройство струнной рамы (с дисками закругления кромок) является поворотным, обеспечивающим свободный доступ к держателям струн и осям закругления кромок.

Линейный лазерный элемент перемещается от одного положения до следующего, чтобы указать точное положение сменных режущих деталей. Оператор лишь должен установить струнные направляющие, пластины стола и инструмент закругления кромок в обозначенной лазером позиции – и сменные режущие детали готовы к установке в многострунный резчик.



Регулирующий инструмент с установочным лазером

Программирование лазерного указателя заключается в установке требуемого количества продукта и режущей длины. После этого лазерный указатель автоматически перезагружается и перемещается к первому положению.

По результатам испытаний в соответствии с техническими требованиями получены высокая точность, безопасность и минимальное время настройки.

Сменные режущие детали теперь полностью регулируются

Оборудование было испытано на заводе Пенте Винербергер ГмбХ, и руководитель предприятия г-н Альфред Ферстер отметил, что устройство регулирования режущей длины отлично работало сразу же после установки. Обслуживающий персонал очень доволен тем, что ролики закругления кромок также могут точно устанавливаться этим инструментом настройки, что исключает прежнюю трудоемкую работу по обеспечению точности.

Это новшество было немедленно запатентовано Фрейматик АГ. Началось продвижение нового оборудования. Регулируемые режущие сменные детали доступны, и уже приходят первые заказы.



Настроенные направляющие режущих струн

Контакты в России

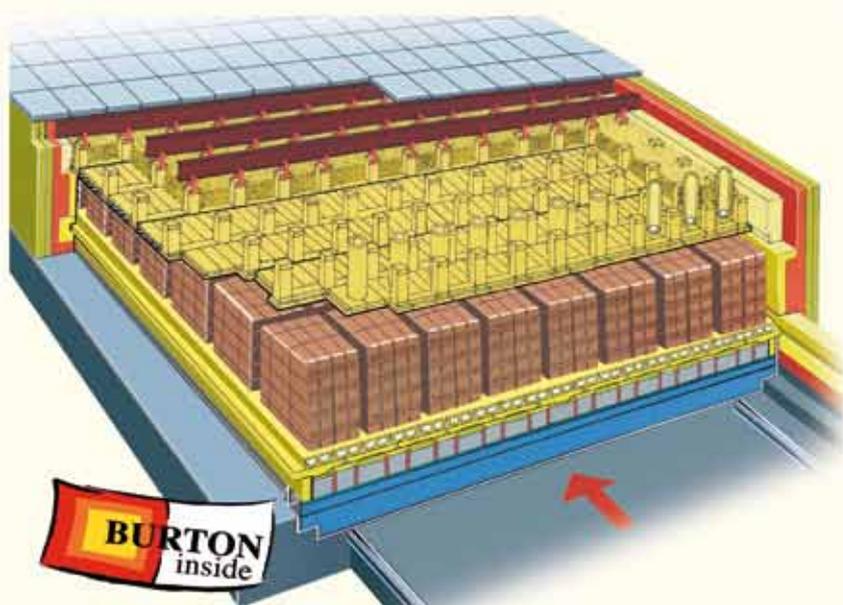
ЗАО «Цез Реф» в Москве, представитель и партнер ФРЕЙМАТИК АГ в России, оказывает помощь заказчикам от первоначального контакта и до ввода машины в эксплуатацию. Компания «Цез Реф» выполнит все формальности по импорту, включая сертификацию и доставку заказчику.

FREYMATIC AG

Gewerbezone Paleu Sura | CH-7012 Felsberg | Швейцария
T +41 81 2584900 | F +41 81 2584901
www.freymatic.com | mail@freymatic.com

ЗАО «Цез Реф»

Ул. Лесная, д. 43, стр. 2, оф. 224–225 | 127055 Москва | Россия
T +7 (499) 978 28 47 | F +7 (499) 978 28 73
www.cesref.ru | main@cesref.ru



BURTON – предоставляет решения „из одних рук“ : огнеупорные материалы, системы, технический сервис



Независимо от того, что Вы ищите – комплексные огнеупорные системы или решения для модернизации - БУРТОН Ваш партнёр - Вы у нас получите всё „из одних рук“ !

Наши системы туннельных вагонеток дают решения для оптимизации процесса обжига при максимальной эффективности энергосбережения.

ОАО Лесома, Тула
Туннельная печь: фирмы КЕЛЛЕР Печные вагонетки: фирмы БУРТОН

С вопросами обращайтесь к нашим представителям в Москве или непосредственно к сотрудникам фирмы БУРТОН :

Фирма Цез Реф, Москва:
Галина Савельева Тел: 007 499 978 28 47
Фирма Буртон, Мелле / Германия:
Мартон Варга Генеральный директор
Валентина Хессе Руководитель по научным
Исследованиям и развитию
Тел: 0049 5427 81 136
Техническое бюро
Тел: 0049 5427 81 107
Алла Маркина



BURTON®
feuerfest

«Боден» — сухие смеси для устройства полов

Если прочность и долговечность здания закладываются на стадии возведения фундамента, то для декоративного напольного покрытия независимо от его ценовой категории таким «фундаментальным» моментом является качество подготовки основания. Компания КНАУФ, один из крупнейших в мире производителей строительных материалов на основе гипса, представила на рынок новую серию продуктов для выравнивания оснований, устройства монолитных гипсовых стяжек и наливных полов под общим названием «Боден».



Ровность, прочность, долговечность

Новая серия материалов «Боден» представляет собой сухие смеси на основе высокопрочного гипсового вяжущего, кварцевого песка и модифицирующих добавок. Смеси «Боден» подходят для устройства самовыравнивающихся монолитных стяжек и полов с обогревом («теплый пол»), «плавающих» полов, подготовки оснований под различные виды напольных декоративных покрытий (паркета, ламината, ПВХ и натурального линолеума, ковровина, керамической плитки, покрытия на основе эпоксидных смол и др.), **эксплуатируемых в помещениях с сухим и нормальным влажностным режимом.**

В силу специфики физико-химических процессов растворы на основе цемента в процессе твердения подвергаются очень сильным усадочным деформациям, что может привести к короблению стяжки и порче декоративного покрытия пола. Уникальные свойства гипсового вяжущего таковы, что в процессе твердения оно не усаживается, а расширяется. Благодаря этому гипсовые монолитные наливные полы и стяжки обладают прекрасной трещиностойкостью, хорошо держат форму; в процессе набора прочности не боятся сквозняков и не требуют специального ухода. Их заливку можно производить даже при низкой температуре, лишь бы не замерзла вода в штукатурной машине. Незначительная продольная деформация во время схватывания (менее 0,1 мм/м) позволяет выполнять заливку без швов на больших площадях.

«Боден» в ассортименте

Наливной пол «Боден 30» применяется для устройства по несущим основаниям, в том числе по деревянным перекрытиям, самовыравнивающихся монолитных бесшовных стяжек толщиной более 25 мм. При применении в системах «теплый пол» отсутствие усадки, быстрая заливка и схватывание, возможность нанесения толстыми слоями без коробления и растрескивания обеспечивают превосходную фиксацию нагревающих элементов и высокое качество при сравнительной экономичности.

Стяжка «Боден 25» применяется в качестве промежуточного слоя толщиной от 10 до 35 мм для выравнивания бетонных оснований, цементных стяжек, наливных полов перед укладкой финишного декоративного покрытия, а также при изменении планировки помещений или устройстве системы отопления в тонких слоях поверх существующих стяжек или наливных полов.

Смесь «Боден 15» применяется на гипсовых и цементных стяжках в качестве шпаклевочной массы при толщине слоя до 5 мм или в качестве промежуточной нивелирующей массы с толщиной слоя до 15 мм. «Боден 15» также может использоваться для шпаклевания сборных элементов пола «КНАУФ-суперпол» (из гипсоволокнистых КНАУФ-суперлистов) и др.

Технология применения

При устройстве наливных полов «Боден» важно правильно подготовить основание. При устройстве контактного пола поверхность необходимо прогрунтовать. Грунт подбирается с учетом впитывающей способности основания.

При устройстве полов *на разделительном слое* на основание укладывается специальная подкладочная бумага с перекрытием краев полос не менее 8 см. Бумага должна быть водонепроницаемой, но и пропускать воздух, что позволит избежать образования в затвердевшем растворе пустот. К стенам в местах соединения с полом по всему периметру помещения крепится кромочная лента. При устройстве пола *на изолирующем слое* подкладочную бумагу укладывают поверх теплозвукоизолирующего материала (пенополистирол, минеральная вата).

Деформационные швы следует предусмотреть при устройстве монолитной стяжки над нагревательными элементами («теплый пол») и в местах расположения конструктивных швов здания. Также необходимо устройство деформационных швов в дверных проемах, если диагональ помещения составляет более 10 м и если планировкой предусмотрены выступы или ниши.

Технические характеристики материалов «Боден» производства компании КНАУФ

Технические характеристики	Боден 30	Боден 25	Боден 15
Плотность стяжки, кг/м ³			
– сухой	2000–2100	2000	~ 1700
– раствора	2200–2300	2200	~ 1900
Выход раствора из 100 кг сухой смеси, л	~ 53	~ 54	~ 53
Время переработки, мин	~ 60	~ 30	~ 30
Прочность при сжатии, МПа	> 25	> 30	> 22
Прочность при изгибе, МПа	> 5	> 6	> 7
Коэффициент теплового расширения, мм/(м·К)	~ 0,014	~ 0,015	~ 0,01
Можно ходить через, ч	~ 6	~ 5	~ 3
Можно нагружать через, сут	~ 3	~ 2	~ 1-2
Расход сухой смеси на 1 м ² при толщине 10 мм, кг	~ 19	~ 18	~ 16
Толщина слоя, мм	> 25	10-35	2-15

Ю.В. КРАСОВИЦКИЙ, д-р техн. наук, Е.В. РОМАНЮК, канд. техн. наук (scercso@mail.ru), Воронежская государственная технологическая академия (ВГТА); Н.В. ПИГЛОВСКИЙ, ведущий инженер (piglovsky@vagon.vrn.ru), Воронежский вагоноремонтный завод (ВВРЗ); Р.Ф. ГАЛИАХМЕТОВ, директор по развитию (grf@rosizvest.ru), ООО «Росизвесть» (Воронеж); И.А. ЧУГУНОВА, инженер-эколог (chugunova_i@mail.ru), ОАО «Семилуцкий огнеупорный завод»

Определение оптимальной гидродинамической области эксплуатации зернистых фильтров

Селективный характер проскока пыли через насыпные зернистые слои отмечен в ряде работ [1–5]. Экстремальные значения проскока приходятся на частицы размером 0,4–0,9 мкм, причем с увеличением скорости потока интенсивность проскока возрастает со смещением в сторону меньших частиц. При низких скоростях потока и крупных зернах фильтра частицы пыли в результате касания и инерции почти не осаждаются, а эффективность осаждения субмикронных частиц аэрозоля с ростом скорости резко снижается. Как видно из рис. 1.4, в восходящих частях кривых фракционной эффективности среди механизмов осаждения преобладает эффект диффузии, а в нисходящих – седиментации. Большое влияние седиментации на осаждение частиц крупнее 0,4 мкм проявляется в зависимости проскока от направления потока: при восходящем пылегазовом потоке через слой проскок в 5–8 раз выше, чем при направлении потока, совпадающем с направлением гравитационной силы [6,7].

Слой из зерен неправильной формы эффективнее слоев из сферических или окатанных зерен.

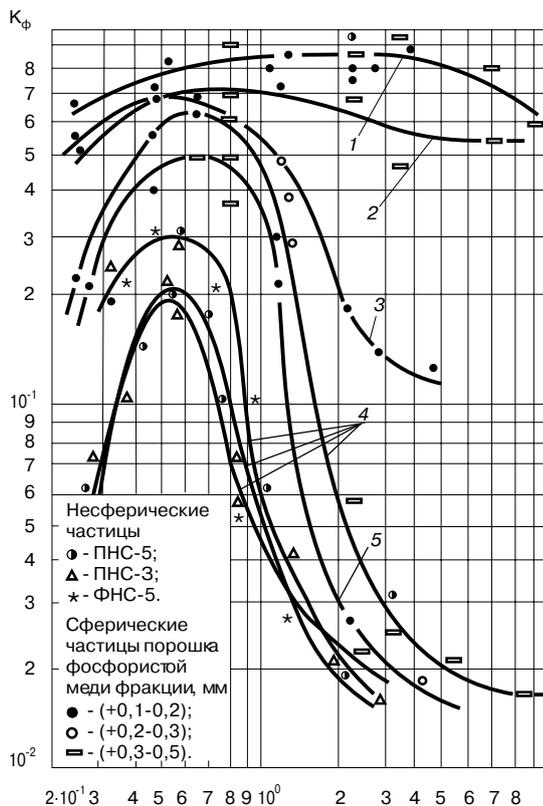


Рис. 1. Зависимость $K_{\phi} = f(Re)$ для образцов при d_{ϕ} , мкм, более: 1 – 0,2; 2 – 0,5; 3 – 0,7; 5 – 1,5.

Улавливание тонкодисперсных частиц пыли при $d_{\phi} \ll 5$ мкм в зернистых слоях высокоэффективно при низкой скорости потока ($w < 0,05$ м/с), когда преобладает диффузионно-седиментационное осаждение, и при высокой скорости ($w > 0,5$ м/с), когда преобладает инерционный механизм осаждения, а субмикронные частицы плохо улавливаются. Для предотвращения уноса уловленной пыли зернистые слои часто орошают. Это позволяет резко сдвинуть экстремальные значения проскока в сторону субмикронных частиц. Однако при этом возникает проблема улавливания вторичного уноса жидкости из слоя, и фильтр фактически превращается в скруббер с насадкой.

Особый интерес представляет определение оптимальной гидродинамической области фильтрации приобретает при строго регламентированных фракционных коэффициентах проскока в производстве строительных материалов, огнеупоров и керамики и применении зернистых слоев со связанной структурой. Созданная для этой цели опытная установка состояла из последовательно соединенных воздуходувки, регулятора расхода, ротаметра, сменной фильтровальной кассеты и лазерного аэрозольного спектрометра ЛА-01 НИФХИ им. Л.Я. Карпова, позволяющего измерять счетную концентрацию частиц при $0,2 < d_{\phi} < 4,0$ мкм.

В качестве образцов использовали плоские диски толщиной 2 мм, изготовленные из сферического порошка фосфористой меди различных фракций: 0,09–0,18 мм (I), 0,18–0,35 мм (II) и 0,35–0,50 мм (III). Значения коэффициента проскока $K = N/N_0$, где N и N_0 – число частиц данной фракции после слоя и до него соответственно, при $d_{\phi} = 0,25$ мкм и при разных значениях w приведены в табл. 1.

Теоретические значения K , рассчитанные по формуле Горли и Кеннеди [8] для диффузионного осаждения в идеальном фильтре при пуазейлевском профиле течения, достаточно близки к экспериментальным. Это подтвердило доминирующий характер диффузионного осаждения в этих условиях. Результаты экспериментов были аппроксимированы критериальными зависимостями вида $f(K_{\phi}, Re, Stk) = 0$, как показано на рис. 1 и 2. Значения Re и Stk определяли по формулам

$$Re = 0,45 w d_s / (1 - \varepsilon) \sqrt{\varepsilon} \nu; \quad (1)$$

$$Stk = d_r^2 \rho w C / 18 \nu \rho_r d_s \varepsilon. \quad (2)$$

Значения Re и Stk меняли в следующих пределах: $2 \cdot 10^{-1} < Re < 9$ и $2 \cdot 10^{-4} < Stk < 7 \cdot 10^{-2}$. Коэффициент Кенингема–Миликена C , учитывающий подвижность субмикронных частиц, рассчитывали по формуле

$$Stk = d_r^2 \rho w C / 18 \nu \rho_r d_s \varepsilon. \quad (3)$$

Таблица 1
Значения K при фильтровании через разные зернистые слои

Зернистый слой	w, м/с		
	0,06	0,16	0,26
I	0,67/0,60	0,79/0,77	0,78/0,83
II	0,79/0,82	0,87/0,90	0,92/0,93
III	0,85/0,90	0,85/0,90	0,96/0,96

Примечание. В числителе – экспериментальные данные, в знаменателе – теоретические.

Таблица 2
Экспериментальные значения $Stk_{кр} \cdot 10^3$

d_p , мкм	Зернистый слой		
	I	II	III
0,25	3,6	3,0	2,8
0,40	2,7	3,2	3,2

Как показал расчет, при $0,2 < d_p < 2,0$ мкм С существенно влияет на Stk . Экспериментально установлено, что в доэкстремальной области кривых, интерпретирующих зависимость $f(K_{\phi}, Re, Stk) = 0$, преобладают одновременно действующие седиментационное и диффузионное осаждения, антибатные с w . Этим объясняется увеличение K_{ϕ} в доэкстремальной области с увеличением Re и Stk . В области, расположенной справа от зоны экстремальных значений K_{ϕ} , явно преобладает инерционное осаждение, симбатное с d_p и W .

Представленные в табл. 2 экспериментальные критические значения $Stk_{кр}$ свидетельствуют о вполне удовлетворительном совпадении этих величин для различных условий фильтрования.

Значение $Stk_{кр}$ определяет условия, при которых начинает действовать инерционный механизм осаждения, и может быть использовано для выбора оптимального режима фильтрования. Экспериментальные значения $Stk_{кр}$ ниже теоретического (0,083), вычисленного для осаждения частиц на изолированной сфере, имитирующей зерно слоя. Это объясняется искажением поля скоростей в реальном фильтре, инерционное осаждение частиц в котором начинается при значительно меньших скоростях, чем предусматривается теорией.

Таким образом, эффективность зернистых слоев в области диффузионного осаждения сравнительно низкая, она повышается при переходе к инерционному механизму улавливания, что позволяет выделить предпочтительную область применения перегородок этого типа.

Полученные критериальные зависимости позволяют не только прогнозировать K_{ϕ} , но и своевременно исключить зону значений Re и Stk , отвечающую наименее выгодному режиму работы фильтра. В связи с этим определенный интерес представляет математическое описание семейства кривых 2–5, представленных на рис. 1. Визуальное их изучение позволяет констатировать наличие общей вершины в пределах $0,5 < Re < 0,8$, асимптотическое приближение к некоторому минимуму при возрастании Re и близость к гауссовской кривой вида $y = e^{-x^2}$. Это дало основание предложить и в дальнейшем экспериментально подтвердить зависимость вида:

$$\ln(K_{\phi})_0 + \ln K_{\phi} = e^{-Ax^2 + Bx + C}, \quad (4)$$

где $x = \ln Re$.

Значения $(K_{\phi})_0$ определены из приближенной асимптотики и для кривых 2, 3, 4 и 5 соответственно равны 2, 10, 100 и 100. Полученные результаты приняты для опти-

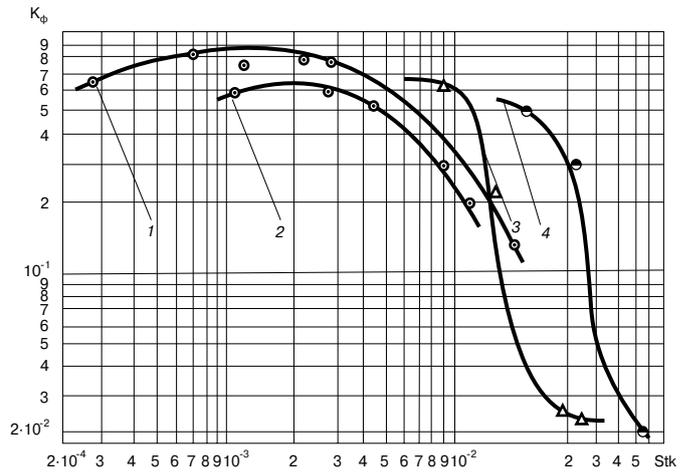


Рис. 2. Зависимость $K_{\phi} = \phi(Stk)$ при d_p , мкм, более: 1 – 0,2; 2 – 0,5; 3 – 0,7; 5 – 1,5

мизации работы фильтра для тонкой очистки газов от пыли в производстве извести.

Ограничение оптимальной области фильтрования диапазоном изменения важнейших гидродинамических критериев Re и Stk не исчерпывает проблемы оптимизации, так как неизвестно численное значение важнейшего параметра – удельной газовой нагрузки для конкретных условий процесса.

Ключевые слова: проскок, регенерация, зернистые слои, оптимальная гидродинамическая область, фильтрование, осаждение.

Список литературы

1. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 352 с.
2. Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю., Мягков Б. И., Решидов И. К. Очистка промышленных газов от пыли. М.: Химия, 1981. 390 с.
3. 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.
4. Красовицкий Ю.В., Жужиков В.А., Красовицкая К.А., Лыгина В.Я. Разделение аэрозолей фильтрованием при постоянной скорости процесса и постепенном закупоривании пор перегородки // Хим. пром. 1974. № 4. С. 296–299.
5. Krasovitskaja K.A., Krasovitskij Ju.W. Investigation of Aerosols division Process by the rotating filter plates. – Lecture Summaries A «Fluid flow, Solid-fluid Separation», V International Congress of Chemical Engineering, Chemical Equipment Design and Automation, 1975, Prague, Czechoslovakia.
6. Красовицкий Ю.В., Энтин С.В., Кабаргин С.Л., Ермолычев Д.А., Маньков А.А., Колбешкин Б.Г., Кузнецова М.Н. Зернистые фильтры для пылеулавливания из технологических газов и аспирационных выбросов в производстве огнеупоров // Новые огнеупоры. 2006. № 5. С.55–63.
7. Красовицкий Ю.В., Карнеева Н.Ю., Красовицкая К.А. Критериальные модели для оптимизации процесса фильтрования гетерогенных систем через пористые зернистые структуры // Модели и алгоритмы оптимизации сложных систем: Сб. науч. тр. ВПИ. Воронеж, 1985. С.47–51.
8. Жуланов Ю.В., Красовицкий Ю.В. Исследование фильтрации аэрозолей металлокерамическими фильтрами // Коллоид. журн., 1981. № 2. С. 246–250.

ПЕНОПЛЭКС® – опыт лидера для удобства потребителя

Теперь выполнять работы по теплоизоляции зданий и сооружений с ПЕНОПЛЭКС® стало ещё проще. Новая система дифференциации марок основана на применении ПЕНОПЛЭКС® в различных конструктивных элементах зданий: кровлях, стенах, фундаментах, полах.

Создание утеплителей «на все случаи жизни» приводит к удорожанию конечного продукта: так, например, использование противопожарных добавок при производстве теплоизоляции, применяемой для утепления фундамента,

абсолютно не оправдано. «ПЕНОПЛЭКС» за конструктивный диалог с потребителем, поэтому предлагает именно тот продукт, который Вам нужен здесь и сейчас.

Главная идея нового продуктового ряда теплоизоляции ПЕНОПЛЭКС® состоит в том, что каждая марка утеплителя ориентирована именно на тот участок строительных работ, в котором будет использоваться, и поэтому обладает специальными характеристиками, позволяющими не переплачивать за невостребованные свойства и качества.

ПЕНОПЛЭКС® КРОВЛЯ

Кровлю необходимо правильно изолировать от жары и холода для повышения энергоэффективности здания и создания комфортного температурного режима зимой и летом. Многие теплоизоляторы претендуют на роль самого лучшего материала для данного вида работ – теплоизоляции крыши. При этом дом теряет около 20% тепла через плохо изолированную кровлю, а владельцы и жильцы оплачивают отопление атмосферы. ПЕНОПЛЭКС®КРОВЛЯ – своими высокими показателями подтверждает, что он идеально подходит для теплоизоляции кровель любых типов, в том числе инверсионных: высокая прочность на сжатие, нулевое водопоглощение, легкость монтажа. ПЕНОПЛЭКС®КРОВЛЯ – удобное и надежное решение проблем теплоизоляции кровли.



ПЕНОПЛЭКС® СТЕНА

При теплоизоляции стен крайне важно использовать высокоэффективный утеплитель и при этом сохранить внутренне пространство зданий и сооружений. ПЕНОПЛЭКС®СТЕНА – оптимальное решение по теплоизоляции стен жилых, общественных, сельскохозяйственных и промышленных зданий, которое надежно защищает от мороза и холода. Отличные теплоизолирующие свойства позволяют использовать значительно меньший объем утеплителя по отношению к ватным заменителям. ПЕНОПЛЭКС®СТЕНА экономит средства при строительстве и максимально сохраняет пространство. ПЕНОПЛЭКС®СТЕНА – высоко экологичный материал, так как производится из того же сырья что и одноразовая посуда и детские игрушки. Выбирая ПЕНОПЛЭКС®СТЕНА, Вы получаете экономию, а потребитель безопасное, теплое и комфортное жилье.



ПЕНОПЛЭКС® ФУНДАМЕНТ

Для утепления фундамента действительно важны: теплоизолирующие свойства, прочность, биостойкость и низкое водопоглощение. Все остальные свойства утеплителя для использования на фундаментах, не более чем уловки маркетологов, не имеющие ничего общего с реальностью. ПЕНОПЛЭКС®ФУНДАМЕНТ – ориентирован на применение в нагружаемых конструкциях, в том числе с защитным слоем (стяжкой) и способен выдержать экстремальные испытания: камни обратной засыпки, морозное пучение и максимальную нагрузку до 27 тонн на кв. м. ПЕНОПЛЭКС®ФУНДАМЕНТ эффективно защищает подземные и цокольные части зданий от промерзания и позволяет превращать подвальные помещения в жилые.



Таблица характеристик КЛАССИЧЕСКИХ и НОВЫХ типов «ПЕНОПЛЭКС».

Старый ассортимент			Физико - механические свойства	Единицы измерения	Новый ассортимент			
Тип 31 С	Тип 31	Тип 35			КРОВЛЯ	СТЕНА	ФУНДАМЕНТ	ПЕНОПЛЭКС®
от 25,0 до 32,0	от 25,0 до 32,0	от 28,0 до 38,0	Средняя плотность	кг/м ³	от 28,0 до 33,0	от 25,0 до 32,0	от 29,0 до 33,0	от 25,0 до 32,0
0,20	0,20	0,25	Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, не менее	МПа	0,25	0,20	0,27	0,20
0,4	0,4	0,4	Водопоглощение за 24 часа, не более	% по объему	0,4	0,4	0,4	0,4
Г 4	Г 3	Г 3	Группа горючести	группа	Г 3	Г 3	Г 4	Г 4
0,030	0,030	0,030	Коэффициент теплопроводности при (25±5)С	Вт/м ·С	0,030	0,030	0,030	0,030
ПЕНОПЛЭКС®	С	К	АНАЛОГ		Тип 35	Тип 31		Тип 31 С

НОВЫЕ МАРКИ – УЖЕ В ПРОДАЖЕ! ЗАКАЗЫВАЙТЕ У ДИСТРИБЬЮТОРА

Узнайте больше на www.penoplex.ru



СТРОИТЕЛЬНАЯ & ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА

www.sibbuild.ru



SibBuild
СтройСиб
МВЦ «NOVOSIBIRSK EXPO CENTRE»

31 января – 3 февраля 2012

- Строительные материалы и оборудование
- Инструменты и крепеж
- Бетоны. Растворы
Бетонные заводы

**WinTecExpo
Novosibirsk**

приходит в Новосибирск!

Генеральный
интернет-партнер

tybet.ru

14 февраля – 17 февраля 2012

- Отделочные материалы
- Двери и замки
- Краски. Сухие
строительные смеси
- Керамика. Сантехника
- Бассейны и сауны
- Натуральный и
искусственный камень
- Инженерное оборудование
- Электрика. Системы
автоматизации зданий

ufi

Организаторы



ИТЕ Сибирь
тел.: +7 (383) 363 00 63
sibbuild@sibfair.ru
www.sibfair.ru

Генеральный
информационный
спонсор

BLIZKO
РЕМОНТ

Официальный
партнер

Стройка
ГЛАВНАЯ ГАЗЕТА

Генеральный
интернет-партнер

STROKA.RU

Информационные
партнеры

Орбита

**Специальный
Крепеж**

Кровли

Водоотвод

Степень

ПРОФ

СТРОИТЕЛЬСТВО

DC

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; А.М. СОКОЛОВ, канд. техн. наук, Ивановский государственный энергетический университет (Иваново)

Методика расчета предельных температурных градиентов в железобетонных изделиях в процессе электротепловой обработки

Тепловая обработка бетона прочно занимает свое место в технологическом процессе производства широкого спектра изделий на предприятиях сборного железобетона и крупнопанельного домостроения. За счет значительного ускорения набора прочности бетона она позволяет существенно повысить производительность и технико-экономические показатели производственного процесса [1]. Обратной стороной этой обработки является неизбежное появление неоднородных температурных полей в объеме обрабатываемого изделия, которые создают внутренние механические напряжения и могут вызвать в бетоне необратимые структурные изменения, недопустимое снижение его прочности [2]. Это обстоятельство привело к появлению достаточно жестких ограничений на предельные значения скорости разогрева и охлаждения изделия при тепловой обработке [1]. Однако непосредственной причиной возможных отрицательных последствий тепловой обработки является возникновение температурных градиентов в объеме материала, величина которых может быть достоверно определена теоретическими методами [2]. Поэтому существует настоятельная потребность в разработке методов расчетной оценки предельных температурных градиентов, что необходимо для квалифицированного конструирования технологического оборудования и выбора режимов его работы. Это особенно актуально для электротепловой обработки бетона, которая позволяет значительно снизить неоднородность температурных полей и обеспечивает возможность управления ими [1, 3].

Для решения поставленной задачи целесообразно воспользоваться теоретическими представлениями о возникновении объемно-напряженного состояния увлажненного материала при сушке, предложенными А.В. Лыковым [4]. При этом можно предположить, что причиной такого состояния может быть не только массо-(влаго)перенос, но и теплоперенос [2]. Эту ситуацию можно представить с помощью рис. 1, где показано в поперечном сечении плоское изделие при

наличии разности температур его верхней T_{max} и нижней поверхностей $T_{min} < T_{max}$ и одномерного температурного поля по толщине материала, показанного там же (полагаем линейный закон изменения температуры). В этом случае возникает температурный градиент:

$$\text{grad}T = \frac{dT}{dx} = \frac{T_{max} - T_{min}}{h} \quad (1)$$

и теплоперенос за счет теплопроводности в соответствии с направлением градиента.

Предположим, что изделие состоит из большого числа тонких слоев (полосок) толщиной Δx , каждый из которых имеет свое значение температуры T_1, T_2 и т. д. в соответствии с графиком ее изменения по толщине (рис. 1). Как известно, при нагревании твердого тела до температуры T его удлинение равно:

$$\Delta l = \alpha_t \cdot l \cdot (T - T_0) = \alpha_t \cdot l \cdot T, \quad (2)$$

где α_t — коэффициент линейного расширения; l — длина тела при температуре $T_0 = 0^\circ\text{C}$ (рис. 1). Если бы слои, из которых состоит изделие, расширялись независимо друг от друга, то они имели бы различную величину удлинения в соответствии с температурой каждого слоя:

$$\begin{aligned} \Delta l_1 &= \alpha_t l T_1, \\ \Delta l_2 &= \alpha_t l T_2 \end{aligned} \quad (3) \text{ и т. д.}$$

В действительности два соседних слоя в месте соединения будут иметь одинаковое удлинение, соответствующее средней температуре $T_{cp} = (T_1 + T_2)/2$, которое будет определяться соотношением:

$$\Delta l_{cp} = \alpha_t \cdot l \cdot T_{cp} = \frac{\alpha_t \cdot l \cdot (T_1 + T_2)}{2}. \quad (4)$$

В результате возникает недопущенное [4] удлинение для верхнего (первого) слоя и избыточное удлинение для нижнего (второго) слоя (рис. 1), которые с учетом (3), (4) могут быть оценены по формуле:

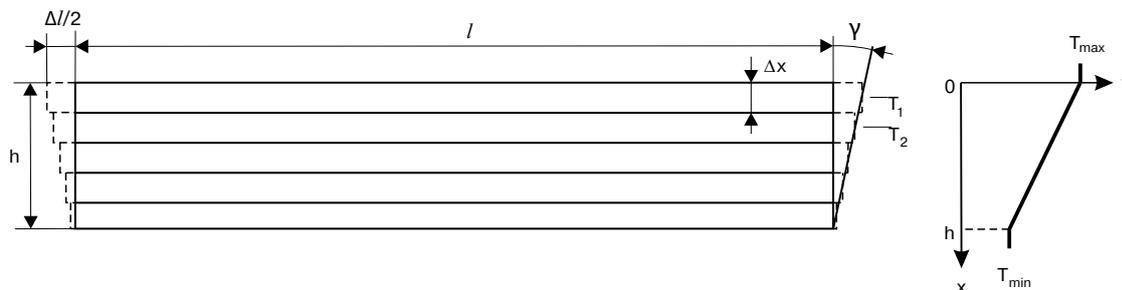


Рис. 1. Схема возникновения объемно-напряженного состояния материала

$$\Delta = \Delta l_1 - \Delta l_{cp} = \alpha_t \cdot l \cdot \frac{T_1 - T_2}{2} = \alpha_t \cdot l \cdot \frac{\Delta T}{2} = \alpha_t \cdot l \cdot \frac{grad T \cdot \Delta x}{2}. \quad (5)$$

Для верхнего слоя возникает деформация сжатия, а для нижнего – деформация растяжения, что приводит к появлению в материале внутреннего напряжения сдвига.

Поскольку температура T и удлинение Δl изменяются по высоте изделия, боковые поверхности изделия приобретают наклон под углом сдвига γ (рис. 1). Поскольку для бетона этот угол может иметь очень малые значения, его величину можно определить из рис. 1 и с учетом (5) по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta}{2 \cdot \Delta x} = \frac{\alpha_t \cdot l \cdot grad T}{4}. \quad (6)$$

Как известно, напряжение сдвига связано с углом сдвига следующим соотношением:

$$\sigma_{\tau} = G \cdot \gamma, \quad (7)$$

откуда

$$\gamma = \frac{\sigma_{\tau}}{G}, \quad (8)$$

где $G = 0,4E$ – модуль сдвига [5]; E – модуль упругости.

Анализ формул (6) и (7) с учетом рис. 1 позволяет заключить, что при одинаковой величине градиента температуры внутренние напряжения достигают наибольшей величины на поверхности края изделия и в направлении наибольшего размера (l). Это подтверждается наблюдаемым на практике соответствующим характером и местом разрушений плоских железобетонных изделий при многолетней эксплуатации вне помещений (бетонные козырьки над входом в здание, балконы и др.). Разрушение происходит из-за многократных воздействий внутренних напряжений вследствие температурных градиентов при нагреве и охлаждении материала по причине суточных и сезонных колебаний температуры в сочетании с другими факторами.

Приравняв левые части уравнений (6) и (8) после преобразований получаем формулу для определения предельного температурного градиента:

$$grad T_{np} = \frac{4 \cdot \sigma_{\tau}^{np}}{G \cdot \alpha_t \cdot l} = \frac{10 \cdot \sigma_{\tau}^{np}}{E \cdot \alpha_t \cdot l}, \quad (9)$$

где σ_{τ}^{np} – прочность материала при сдвиге, которая для бетона связана с прочностью при сжатии, т. е. важнейшим свойством этого материала, следующим соотношением (формулой Фере) [5]:

$$\sigma_{\tau}^{np} = 6,44 \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\sigma_{сж}^2}, \quad (10)$$

здесь $\beta = 0,08$ для бетона класса по прочности до В25 включительно и $\beta = 0,07$ для бетона класса В30 и выше.

После подстановки (10) в (9) получаем:

$$grad T_{np} = \frac{64,4 \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\sigma_{сж}^2}}{E \cdot \alpha_t \cdot l}. \quad (11)$$

Формула (11) позволяет сделать вывод, что для бетона предельный температурный градиент зависит в основном от двух факторов: прочности бетона при сжатии $\sigma_{сж}$ и размера железобетонного изделия l .

Вместе с тем нетрудно заметить, что формула (11) позволяет определять лишь такое значение предельного температурного градиента, достижение и превышение которого неизбежно влечет за собой разрушение материала. Этого явно недостаточно для выбора безопасных режимов тепловой обработки бетона, так как хорошо известно, что необратимые структурные изменения в материале наступают уже при напряжениях значительно меньшей величины, чем $\sigma_{сж}$ [5, 6].

Для корректной оценки опасности температурных градиентов целесообразно использование в формуле (11) двух характерных параметров диаграммы напряженного состояния бетона σ_T^0 и σ_T^y [6]. Первый из них σ_T^0 – это такое напряжение, в пределах которого наблюдается упругая деформация бетона, а многократное нагружение материала не приводит к снижению его прочности. Превышение этого граничного значения приводит к появлению микроразрушений в объеме материала, а многократные нагружения вызывают постепенное снижение прочности. Величину этого параметра можно определить с помощью эмпирической формулы [6]:

$$\sigma_T^0 = (0,35 \cdot \lg \sigma_{сж} - 0,15) \cdot \sigma_{сж}. \quad (12)$$

Второй параметр $\sigma_T^y > \sigma_T^0$ представляет собой другое граничное значение, превышение которого приводит к выраженным и быстро нарастающим разрушениям структуры бетона, сопровождающимся псевдопластическими деформациями. В результате этого материал становится практически непригодным для дальнейшего использования. Величину этого параметра также можно оценить с использованием эмпирической формулы [6]:

$$\sigma_T^y = (0,35 \cdot \lg \sigma_{сж} + 0,175) \cdot \sigma_{сж}. \quad (13)$$

Заменяя $\sigma_{сж}$ в формуле (11) выражениями (12) и (13) для σ_T^0 и σ_T^y , получаем соотношения, позволяющие определять величину температурных градиентов, при которых внутренние напряжения материала достигают этих граничных значений:

$$grad T_{np}^0 = \frac{(22,54 \cdot \lg \sigma_{сж} - 9,66) \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\sigma_{сж}^2}}{E \cdot \alpha_t \cdot l}; \quad (14)$$

$$grad T_{np}^y = \frac{(22,54 \cdot \lg \sigma_{сж} + 11,27) \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\sigma_{сж}^2}}{E \cdot \alpha_t \cdot l}. \quad (15)$$

Другим важным вопросом является определение значений коэффициента линейного расширения α_t и модуля упругости E в формулах (14) и (15). Если для предельных значений температуры тепловой обработки

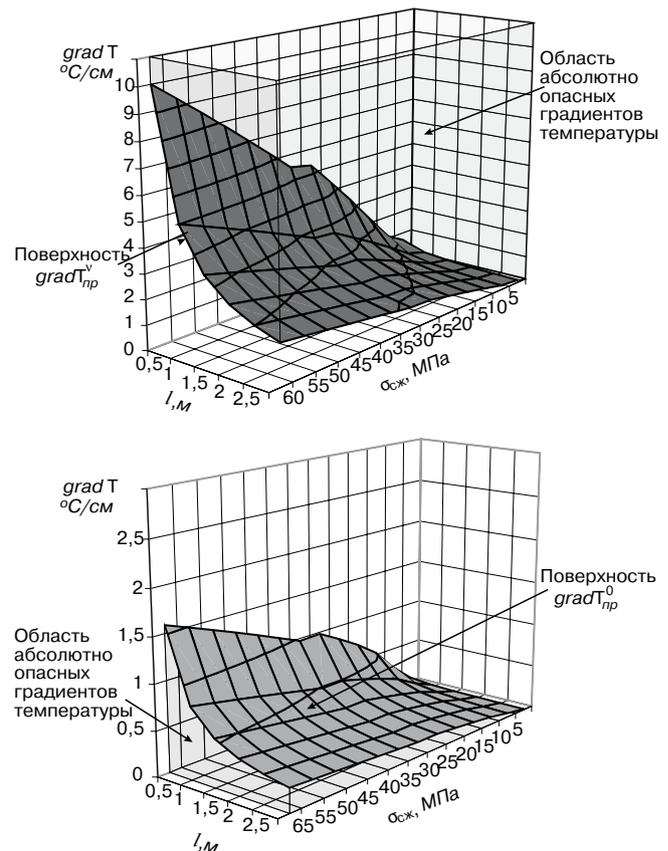


Рис. 2. Предельные градиенты температуры

бетона 80–90°C можно принять вполне определенное значение $\alpha_t = 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$, то второй параметр для тяжелых бетонов может колебаться в весьма широких пределах $E=(1,1-4)\cdot 10^4$ МПа под влиянием различных факторов (класс бетона, водоцементное отношение, марка цемента, виды и количество добавок, виды, соотношение и параметры наполнителей, температура и др.) [5, 6]. Для тяжелых бетонов при нагрузках в области упругой деформации модуль упругости (начальный) можно определять по эмпирической формуле [5, 6]:

$$E \approx \frac{5,5 \cdot 10^4 \cdot \sigma_{сж}}{(20 + \sigma_{сж})} \quad (16)$$

С учетом этого были выполнены расчеты предельных температурных градиентов по формулам (14) и (15), результаты которых представлены на рис. 2 в трехмерной системе координат в виде поверхностей $gradT_{пр}^0 = f(\sigma_{сж}, l)$ и $gradT_{пр}^v = f(\sigma_{сж}, l)$. При расчетах по формуле (14) значение модуля упругости определяли с использованием соотношения (16). При вычислениях по формуле (15) использовали постоянное и минимальное значение $E=1,1 \cdot 10^4$ МПа, соответствующее нагрузкам псевдопластической деформации, т. е. $\sigma \geq \sigma_T^v$.

Практическое значение полученных результатов (рис. 2) с учетом условий вычислений можно объяснить следующим образом. Поверхность $gradT_{пр}^0$ представляет собой верхнюю границу области абсолютно безопасных значений градиента температуры в материале $gradT \leq gradT_{пр}^0$ для любых видов и разновидностей тяжелого бетона. Наилучший режим тепловой обработки бетона и железобетонных изделий достигается в том случае, если температурные градиенты в объеме материала не выходят за пределы этой области на всех стадиях обработки. Поверхность $gradT_{пр}^v$ представляет собой нижнюю границу области абсолютно опасных значений градиента температуры

$gradT \geq gradT_{пр}^v$ для любого бетона. Появление градиентов, соответствующих этой области, обязательно повлечет недопустимое повреждение материала. Для области значений градиента температуры, находящихся между этими границами $gradT_{пр}^0 < gradT_{пр}^v < gradT_{пр}^v$, нельзя сделать столь однозначные выводы, как в предыдущих случаях. В такой ситуации необходимо проведение индивидуального исследования с учетом особенностей и характеристик применяемых материалов (бетона и его составляющих), конструкции обрабатываемого изделия и параметров технологического процесса.

Ключевые слова: напряженное состояние, температурные деформации, тепловая обработка бетона и железобетона.

Список литературы

1. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звезда. М.: НИИЖБ, 2005.
2. Федосов С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново: ПрессСто, 2010. 364 с.
3. Федосов С.В., Бобылев В.И., Митькин Ю.А., Соколов А.М., Закинчак Г.Н. Электротепловая обработка бетона токами различной частоты // Строит. материалы. 2010. № 6. С. 4–7.
4. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 472 с.
5. Бондаренко В.М., Бакиров Р.О. и др. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
6. Берг О.Я., Шербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. М.: Изд. лит-ры по строительству, 1971. 208 с.

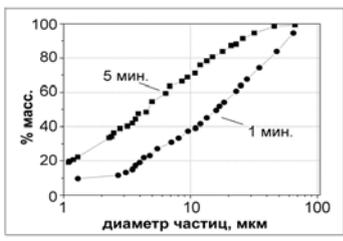


Активатор
измельчение активация синтез

Лабораторные мельницы “Активатор” для заводских и исследовательских лабораторий.



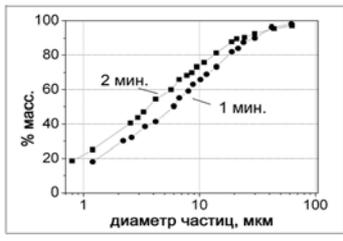
Активатор-2SL



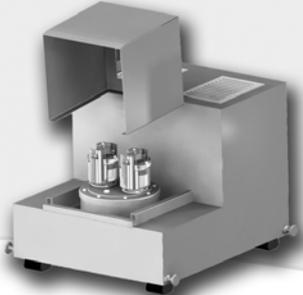
Для пробоподготовки материалов



Активатор-4M



Для наработки небольших партий материалов



Активатор-2S

Для помола материалов в ударном, сдвиговом, вихревом режимах

www.activator.ru >>

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

Реклама

В.И. КАЛАШНИКОВ, В.С. ДЕМЬЯНОВА, доктора техн. наук,
Д.В. КАЛАШНИКОВ, К.Н. МАХАМБЕТОВА, кандидаты техн. наук,
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Оптимизация состава особо тяжелого высокопрочного бетона для защиты от радиации

Как показывает практика, особо тяжелый высокопрочный бетон для одновременной защиты от γ -излучений и нейтронных потоков изготавливают, как правило, на тяжелых заполнителях из барита, железной руды, лимонита, магнетита, металлического скрапа и др. [1]. В табл. 1 представлена плотность особо тяжелого бетона на различных заполнителях по данным [2].

Ниже приводятся физико-механические свойства и сравнительная характеристика бетонов, изготовленных на различных заполнителях и применяемых для создания тепловой и биологической защиты ядерных реакторов и других источников ионизирующих излучений.

Бетон, изготовленный на базальтовых заполнителях, имеет среднюю плотность 2410–2620 кг/м³ и характеризуется большой однородностью по плотности и химическому составу. Заполнители на основе базальтов отличаются от обычных заполнителей наличием значительного количества элементов с большим атомным номером (Fe, Ca, Ti, Mn, K), которые хорошо ослабляют нейтроны [3]. Бетоны на базальтовых заполнителях имеют слабокристаллизованную структуру с небольшими кристаллами, вследствие чего они достаточно стойки к воздействию повышенной и высокой температуры. Дополнительным преимуществом их являются достаточно близкие коэффициенты линейного температурного расширения [3]. Зерна дробленого базальта имеют угловатую форму. Это ухудшает удобообрабатываемость и способность бетонной смеси к уплотнению, что часто вызывает необходимость повышения величины водоцементного отношения. С другой стороны, подобная форма заполнителей улучшает сцепление их с цементным камнем и способствует увеличению прочности бетона при сжатии. В возрасте 28 сут она составляет 67–77 МПа. Базальтовый

бетон на портландцементе имеет высокие показатели модуля упругости, износостойкости, морозостойкости и низкое водопоглощение.

Плотность лимонитового бетона достигает только 2500–2900 кг/м³ вследствие малой плотности лимонитовой руды (3960 кг/м³ в куске). Однако содержание химически связанной воды в таком бетоне может быть вдвое больше (до 11 мас. %). Допускаемая температура эксплуатации без потери химически связанной воды 160°C [3]. По данным [4], при нагреве до 300°C лимонитовый заполнитель теряет половину химически связанной воды. При 500°C потеря воды составляет уже около 70%, а при температуре более 800°C вода испаряется полностью. Вследствие слоистой структуры заполнителя усадка лимонитового бетона колеблется в значительных пределах 0,6–1,2 мм/м [3]. Введение в лимонитовые бетоны, даже в небольших количествах, стальных заполнителей повышает плотность до 3500–4000 кг/м³, прочность при сжатии до 35–40 МПа, а также снижает величину усадки до 0,4 мм/м.

Несмотря на невысокую плотность серпентинитового бетона (2300–2600 кг/м³), этот вид бетона является эффективной защитой от нейтронов всех энергий [3]. Это обусловлено высоким содержанием химически связанной воды, достигающей 10–15 мас. % при 20°C и 10% при 400°C [5]. В связи с этим серпентинитовый бетон сохраняет достаточное количество воды при температуре 400–500°C, что делает защиту достаточно эффективной. Модуль упругости серпентинитового бетона при 20°C 18200 МПа, при 500°C – 4420 МПа. Серпентинит пригоден для бетонов, используемых в конструкциях, подверженных воздействию температуры до 500°C. Такая стойкость обеспечивается малокристаллизованной формой скальной породы и соответствующим температурным расширением $(6-9) \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$, равномерным во всех направлениях и постоянным при разной температуре.

Для защиты от нейтронного и гамма-излучения, в условиях высокой температуры хорошо зарекомендовал себя бетон, в качестве заполнителей в котором используют хромитовые руды. Бетон на таких заполнителях выдерживает температуру до 1770°C. Хромитовый бетон на портландцементе, выдерживающий интегральный поток нейтронов $2,7 \cdot 10^{25}$ н/м² при 200–350°C, описан в [6]. Образцы из хромитового бетона после облучения в указанных условиях сохраняли размеры, форму и достаточно высокую прочность. Аналогичными свойствами обладает бетон на магнетите и гематите. Плотность бетона на песке и щебне из магнетита составляет около 4000–4500 кг/м³, а прочность при сжатии достигает 50–70 МПа. Магнетитовые бетоны характеризуются хорошей теплопроводностью. Коэффициент теплопередачи их составляет 2,675–3,256 Вт/(м²·К).

Таблица 1

Вид заполнителя	Показатели плотности, кг/м ³	
	минимальная	максимальная
Лимонитовый	2500	3000
Магнетитовый	2800	4000
Баритовый	3300	3600
Чугунный скрап	3700	5000
Комбинированный:		
– с лимонитовым песком и обычным щебнем из тяжелых каменных пород;	2400	2500
– с баритовым щебнем;	3000	3200
– магнетитовым щебнем;	2900	3800
– с металлическим скрапом	3600	5000

Таблица 2

Используемая фракция смеси стеклозаполнителя	Содержание стеклозаполнителя в смеси, %	Плотность смеси, кг/м ³		Межзерновая пустотность, %	
		в насыпном состоянии, $\rho_{нас}$	в уплотненном состоянии, $\rho_{упл}$	в насыпном состоянии, $V_{п}^{нас}$	в уплотненном состоянии, $V_{п}^{упл}$
0,14–0,63	4	2916	3414	43,7	34
0,63–1,25	7,3				
1,25–2,5	13,2				
2,5–5	8,5				
5–10	67				

Таблица 3

Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг							Дозировка С-3 в стеклоносителе, %	Дозировка С-3 с водой затворения, %	В/Ц	ОК, см Ж, с	Прочность, МПа Плотность, кг/м ³		
Ц	П	СЩ	Щ	С _п	С _л	СН							
481	–	2312	–	1044	–	99	1,03	–	0,37	$\frac{18-20}{-}$	$\frac{9,9}{4115}$	$\frac{34,4}{4100}$	$\frac{65}{4095}$
481	–	2312	–	1044	–	99	1,03	–	0,28	$\frac{3-5}{-}$	$\frac{11,5}{4275}$	$\frac{41}{4238}$	$\frac{77}{4200}$
560	–	2312	–	1135	–	99	0,88	–	0,24	$\frac{-}{25-30}$	$\frac{24,5}{4337}$	$\frac{68}{4310}$	$\frac{92}{4297}$
510	280	2312	–	523	–	50	0,42	–	0,23	$\frac{3-4}{-}$	$\frac{26}{3620}$	$\frac{55}{3680}$	$\frac{72}{3600}$
510	560	2312	–	–	–	50	0,42	–	0,27	$\frac{5-6}{-}$	$\frac{16}{3800}$	$\frac{48,6}{3790}$	$\frac{66}{3780}$
478	–	2312	–	–	897	82	0,83	–	0,29	–	$\frac{3,2}{3900}$	$\frac{26}{3885}$	$\frac{40}{3870}$
300	–	2312	–	–	1319	65	1,08	–	0,43	–	$\frac{,5}{4100}$	$\frac{13}{4090}$	$\frac{20}{4075}$
560	560	–	1300	–	–	–	–	–	0,38	$\frac{2-4}{-}$	$\frac{17,6}{2520}$	$\frac{38}{2490}$	$\frac{74}{2483}$
560	560	–	1300	–	–	–	–	1	0,29	$\frac{2-4}{-}$	$\frac{24}{2515}$	$\frac{65}{2510}$	$\frac{91}{2500}$

Примечание. Ц – цемент; П – песок; СЩ – стеклощебень; Щ – щебень; С_п – стеклопесок (смесь фракций); С_л – стеклопесок фр. 0,14–2,5 мм; СН – стеклоноситель.

Температурный коэффициент линейного расширения магнетитового бетона составляет $(9-15) \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$, что обеспечивает в защитах из них равномерные температурные градиенты и, следовательно, температурные напряжения [3]. Близки по своим свойствам и бетоны на гематитовом заполнителе. Средняя плотность гематитового бетона 3800 кг/м³. Тепловой коэффициент линейного расширения гематитового бетона $5,9 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$. Гематиты сильнее кристаллизованы, чем магнетиты, и состоят из большого числа крупных кристаллов. В связи с этим гематитовые бетоны менее стойки к воздействию высоких температур по сравнению с магнетитовыми бетонами. Радиационно-стойкий при флюенсе нейтронов до $7 \cdot 10^{24} \cdot н/м^2$ гематитовый бетон имеет следующий состав: портландцемент – 295–315 г/м³; гематит (крупный заполнитель) – 2150–2650 кг/м³; тонкомолотая добавка (гематит) – 295–315 кг/м³; вода – 230–300 кг/м³. Средняя плотность бетона 3000–3500 кг/м³. При указанной радиационной нагрузке линейное расширение бетона равно 1–2%. Бетон может быть использован в защите при температуре до 800°C. Кроме того, бетон на гематитовом заполнителе в два раза дешевле хромитового бетона.

Баритовые бетоны с заполнителем из баритовой руды имеют плотность 2700–3800 кг/м³; прочность при сжатии 16–30 МПа; прочность при растяжении составляет лишь 8–10% прочности при сжатии; коэффициент теплопередачи 1,28–1,98 Вт/(м²·К); температурный коэффициент линейного расширения $(20-30) \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ в интервале температур 20–900°C [3]. Из всех бетонов, получивших широкое применение в сооружениях ядерных объектов, баритовые бетоны наименее стойки к темпера-

турным воздействиям, особенно цикличным. Это обусловлено тем, что кристаллы BaSO₄ имеют значительные размеры, а также значительное и одновременно неодинаковое по кристаллическим осям температурное расширение $dx = 19 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$; $dy = 22 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$; $dz = 35 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$. При воздействии температурных циклов расшатывается как структура заполнителя, так и структура бетона. Учитывая это обстоятельство, баритовые бетоны рекомендуется применять лишь в конструкциях, не подвергаемых воздействию температуры свыше 80°C. Баритовые бетоны имеют низкую морозостойкость. Через 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания баритового бетона происходит снижение его прочности на 40–60%. Это обусловлено присутствием в барите растворимых солей. Макроскопическое сечение поглощения гамма-излучения с энергией 5 МэВ для баритового бетона составляет 0,101 см⁻¹. Вместе с тем в отличие от бетонов на железорудных заполнителях баритовые бетоны не вызывают существенного вторичного гамма-излучения.

Модифицирование бетонов на тяжелых плотных заполнителях стальным и чугуном ломом позволяет значительно повысить плотность бетона. Например, средняя плотность бетона, изготовленного из чугунных чушек, достигает 3000–5000 кг/м³. Плотность бетонов на металлическом скрапе в виде обрезков и отходов от штамповки металла, отходах от производства феррофосфора, феррокремния или на свинцовой дробии составляет 3600–6800 кг/м³. Вместе с тем такой бетон имеет несколько худшие механические показатели по сравнению с обычным бетоном, что объясняет трудности достижения равномерности состава и плотности

Таблица 4

Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси				Расход добавок, %			В/Ц ОК, см	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут	
цемент	стекло-песок	стекло-щебень	стекло-носитель	С-3	ОПЭ	K ₂ SO ₄ + Na ₂ CO ₃			1	28
544	1081	2202	94	0,86	0,001	–	$\frac{0,33}{16}$	4025	$\frac{22}{35}$	$\frac{62}{100}$
544	1081	2202	94	0,86	0,001	0,65+0,14	$\frac{0,33}{16}$	4025	$\frac{28,6}{45}$	$\frac{62,8}{100}$

при укладке. Модуль упругости у бетона на заполнителе из чугунного лома (1–2,3) 10⁴ МПа; прочность 6–11,5 МПа; усадка через 6 месяцев 0,45 мм/м; полная усадка 0,75 мм/м.

Использование в качестве заполнителей металлических отходов и чугунной дробы позволяет получить бетон плотностью 6800 кг/м³. При соответствующих методах укладки и уплотнения бетонной смеси удается получить бетон с плотностью 7000 кг/м³ и более [3]. Металлические заполнители перед применением должны быть очищены от масляных пленок, которые снижают сцепление их с цементным камнем [3]. Температурный коэффициент линейного расширения бетона на стальном ломе 5,1·10⁻⁶·К⁻¹. Недостатком тяжелого бетона с железным ломом является активация железных включений под действием нейтронного потока и выделение ими жестких вторичных излучений.

Значительно превосходит защитные свойства бетон на свинцово-порошковом заполнителе. Свинец является поглотителем нейтронов и эффективным замедлителем гамма-излучения. Технология приготовления такого бетона не отличается от обычного. Бетон на основе алюминатного цемента и свинца в качестве заполнителя предлагается также для биологической защиты стен реакторов. Средняя плотность 8500 кг/м³; предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут 30 МПа; при растяжении – 6 МПа.

Выполненный анализ свидетельствует, что бетон на основе тяжелых высокоплотных заполнителей из железных руд, хромита, барита обладает достаточно хорошей радиационной стойкостью. Согласно [4] он способен без существенного ухудшения строительно-технических свойств выдерживать длительное действие радиации с интегральным потоком нейтронов до 5·10²⁴ н/м² при рабочей температуре до 500°С. При локальных перегревах такой бетон устойчив до 1100°С, хотя и теряет до 70% исходной прочности.

В настоящее время возможности повышения плотности растворной матрицы бетона заметно возросли за счет использования эффективных добавок, способных снизить водопотребность бетонной смеси на 20–30% [7]. Особенно эффективно использование суперпластификаторов в комплексе с тонкомолотыми дисперсными и ультрадисперсными минеральными наполнителями, такими как микрокремнезем, зола-унос, металлургические шлаки и др. [8]. Введение суперпластификатора на дисперсных носителях позволяет снизить водоцементное отношение до 0,28–0,32 [9].

Введение оптического стекла ТФ 10 в цементные суспензии в качестве тонкодисперсного носителя суперпластификатора в количестве до 20% массы цемента позволяет обеспечить водоредуцирующее действие суперпластификатора на различных видах цемента в пределах 44–50%. Очевидно, следует ожидать значительного снижения водопотребности бетонных смесей, изготовленных на комплексе мелкого и крупного стеклозаполнителя и стеклоносителя суперпластификатора. В связи с этим получение особо тяжелого высокопрочного бетона

достигали, с одной стороны, путем комплексного использования тяжелого свинцово-силикатного оптического стекла ТФ 10 в качестве заполнителя и наполнителя бетонных смесей, с другой – за счет низкого водоцементного отношения, обеспеченного введением суперпластификатора на дисперсном стеклоносителе.

Опытные образцы-кубы размером 10×10×10 см готовили на цементе марки ПЦ500Д0 ПО «Осколцемент». В качестве крупного заполнителя использован дробленый стеклозаполнитель фр. 5–10 мм. Для сравнения готовили бетон на гранитном щебне фр. 5–10 мм марки М1400 Свердловского карьера.

Расход цемента для высокопрочного бетона находится в пределах 500–600 кг/м³ [9]. Поэтому на первом этапе исследований было принято его минимальное количество 480 кг/м³ с дальнейшим повышением до максимального значения Ц=620 кг/м³. Содержание дисперсного стеклоносителя суперпластификатора изменяли от 12 до 20%. При таком его содержании доля С-3 от массы цемента достигала 0,86–1,08%. В пересчете на массу смешанного вяжущего содержание С-3 составило 0,75–0,85%.

С целью повышения плотности бетона с учетом высокой межзерновой пустотности стеклозаполнителя фр. 5–10 мм (55,6%) предварительно изучали его гранулометрический состав. Минимальная межзерновая пустотность в насыпном и уплотненном состоянии 43,7 и 34% соответственно обеспечивает смесь фракций заполнителей при соотношении, указанном в табл. 2.

Составы и физико-механические свойства особо тяжелого высокопрочного бетона, изготовленного на стеклозаполнителе и гранитном щебне, представлены в табл. 3. Как показали проведенные испытания, максимальная плотность 4297 кг/м³ была достигнута для бетона на заполнителе оптимальной гранулометрии (состав 3). Прочность при сжатии такого бетона достигает 92 МПа (при В/Ц=0,24), что не уступает бетону на гранитном заполнителе при водоцементном отношении В/Ц=0,29. Соотношение компонентов бетонной смеси цемент:дисперсный носитель:стеклопесок:стеклощебень для указанного состава было принято 1:0,18:2,03:4,13 или 1:6,34 (цемент:стекло).

При использовании суперпластификатора С-3 не удалось получить бетонную смесь при В/Ц=0,24 на гранитном заполнителе фр. 5–10 мм и песке с М_{кр}=2,2 той же подвижности, что и на стеклозаполнителе. Только благодаря использованию оптического стекла в качестве мелкого и крупного заполнителя, а также сухого введения С-3 на дисперсном стеклоносителе эта задача была реализована. Можно полагать, что чрезвычайно низкая водопотребность стеклозаполнителя позволила бы изготовить бетонные смеси меньшего водосодержания при наличии более эффективного суперпластификатора.

Достаточно высокая плотность 3870–4100 кг/м³ была получена для сильно наполненного тощего бетона низкой марки (прочность при сжатии в возрасте 28 сут 20 МПа, состав 7) и средней марки (40 МПа, состав 6).

Соотношение компонентов бетонной смеси для бетонов указанных составов было принято: состав 7 — 1:0,22:4,39:7,7 или цемент:стекло — 1:12,3 при В/Ц=0,43; состав 6 — 1:0,17:1,88:4,84 или цемент:стекло — 1:6,9 при В/Ц=0,29.

Низкое значение В/Ц в составах 3 и 4 обеспечивает в структуре бетона преимущественно гелевую и контракционную пористость, что в свою очередь способствует снижению объемных изменений бетона при попеременном увлажнении и высушивании.

Необходимо отметить, что специфические особенности стеклозаполнителя, а именно его высокая плотность, вносят существенный вклад в изменение подвижности и жесткости бетонных смесей.

Установлено, что при одинаковой осадке конуса ОК=1–2 см бетонные смеси на стеклозаполнителе имеют меньшую жесткость, чем смеси на природных заполнителях. Одинаковый коэффициент уплотнения бетонных смесей марки по удобоукладываемости П1, изготовленных на стеклозаполнителе, достигается при времени вибрирования, в два раза меньшем по сравнению со смесями на природных заполнителях.

Для монолитного и сборно-монолитного строительства рекомендованы высокоподвижные и нерасслаивающиеся бетонные смеси (табл. 4), характеризующиеся средней прочностью в пределах 50–60 МПа с достаточно высокими темпами набора суточной прочности при температуре 20°C.

Без комплексного ускорителя твердения суточная прочность составляет 35% марочной. Введение ускорителя в количестве 0,8% обеспечивает набор 45% прочности от 28-и суточной.

Ключевые слова: *особо тяжелые высокопрочные бетоны, тяжелые заполнители, модифицированные бетоны,*

суперпластификаторы, защита от радиационного излучения.

Список литературы

1. *Баженов Ю.М.* Технология бетона. М.: Изд-во Ассоциации высших учебных заведений, 2002. 500 с.
2. *Баженов Ю.М., Комар А.Г.* Технология производства строительных материалов М.: Стройиздат, 1990. 182 с.
3. *Дубровский В.Б., Аблевич З.И.* Строительные материалы и конструкции защиты от ионизирующих излучений. М.: Стройиздат, 1983. 240 с.
4. *Виноградов Б.Н.* Влияние заполнителей на структуру и свойства бетонов. М.: Стройиздат, 198. 249 с.
5. *Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М.* Технология заполнителей бетона. М.: Высшая школа, 1991. 272 с.
6. *Ицкович С.М.* Заполнители для бетона. М.: Высшая школа, 1972. С. 208–211.
7. *Калашиников В.И., Демьянова В.С., Коровкин М.О., Калашиников Д.В.* Методологические и технологические аспекты формирования ранней суточной прочности мелкозернистых пластифицированных бетонов: В сб. «Современные проблемы строительного материаловедения. VI Академические чтения». Иваново, 2000. С. 163–166.
8. *Каприелов С.С., Батраков В.Г.* Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // Бетон и железобетон. 1996. № 6. С. 6–10.
9. *Баженов Ю.М., Бабаев Ш.Г., Чумаков Ю.М.* Влияние суперпластификаторов 10-03 и 30-03 на свойства бетонной смеси и бетона с учетом химико-минералогического состава цементов. Применение химических добавок в технологии бетона. М.: Знание, 1998. С. 54–56.

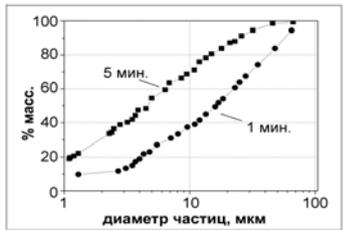


Активатор
измельчение активация синтез

Лабораторные мельницы “Активатор” для заводских и исследовательских лабораторий.



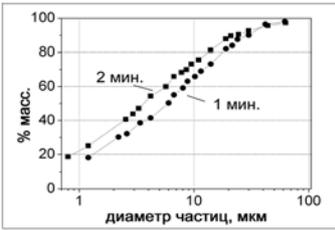
Активатор-2SL



Для пробоподготовки материалов



Активатор-4M



Для наработки небольших партий материалов



Активатор-2S

Для помола материалов в ударном, сдвиговом, вихревом режимах

www.activator.ru >>

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

Реклама

В.В. РУСИНА, канд. техн. наук, Е.В. КОРДА, С.А. ЛЬВОВА, инженеры (smit@brstu.ru), Братский государственный университет (Иркутская обл.)

Коррозионная стойкость мелкозернистых бетонов на основе техногенного сырья

Сегодня одним из возможных путей обеспечения многих объектов строительства недорогими, но эффективными коррозионно-стойкими материалами является их производство на бесцементной основе. Так, например, известно, что высокой стойкостью к воздействию самых различных агрессивных сред обладают щелочные и щелочно-щелочноземельные, в том числе шлакощелочные, вяжущие вещества. К этому следует добавить, что такие материалы базируются на максимальном использовании промышленных отходов, что делает их применение еще более выгодным [1].

В условиях Братска актуально вовлечение в строительное производство таких многотоннажных промышленных отходов, как микрокремнезем Братского завода ферросплавов (БЗФ), зола-унос сухого отбора ТЭЦ-7 «Иркутскэнерго» и отвальная золошлаковая смесь (ЗШС) ТЭЦ-6 «Иркутскэнерго». В настоящее время это техногенное сырье не находит рационального применения и удаляется в отвалы, усугубляя экологическую напряженность в городе.

На основе вышеперечисленных отходов получены жидкое стекло (из микрокремнезема); зола- и золошлакощелочные вяжущие вещества (ЗЩВ и ЗШЩВ) из жидкого стекла и соответственно золы-уноса и молотой отвальной ЗШС [2–4].

Цель настоящей работы – создание на основе ЗЩВ и ЗШЩВ с использованием жидкого стекла из микрокремнезема коррозионно-стойких бетонов.

Как известно, определенное влияние на показатели качества и долговечности бетона оказывает заполнитель. Помимо известных требований к заполнителям для бетона считается целесообразным ограничивать размер заполнителя 10–20 мм или применять мелкозернистые бетоны, так как крупный заполнитель уменьшает сопротивляемость бетона усталостному разрушению при воздействии различных факторов, вызывающих неоднородное поле внутренних напряжений и температурно-влажностные градиенты и деформации. Поэтому исследования проводили на мелкозернистых бетонах, в которых в качестве заполнителя использовался песок из отсевов от дробления диабазовых масс на щебень с $M_k = 2,6$. Коррозионная стойкость изучалась на образцах-балочках размером $4 \times 4 \times 16$ см, изготовленных из растворных смесей состава зола или молотая ЗШС:песок из отсевов диабаз = 1:3. Твердение образцов происходило при тепловлажностной обработке в течение 10 часов при температуре изотермической выдержки 85°C . Эксперименты проводились с использованием 3 и 5% раствора H_2SO_4 , 0,1% раствора HCl и 5% раствора Na_2SO_4 .

Оценка коррозионной стойкости по изменению прочности при сжатии, будучи пригодной для исследования коррозии I и II видов, по В.М. Москвину, не является основным критерием при коррозии III вида [5, 6]. В связи с этим коррозионная стойкость исследуемых бетонов оценивалась по коэффициенту химиче-

ской стойкости ($K_{х.ст.}$) – изменению предела прочности при изгибе (отношение предела прочности при изгибе образцов, находящихся в агрессивной среде, к пределу прочности при изгибе образцов, находящихся в воде) по формуле:

$$K_c = \frac{R_{изг.среда}}{R_{изг.вода}}$$

В результате выполненных экспериментов установлена достаточно высокая коррозионная стойкость исследуемых мелкозернистых золо- и золошлакощелочных бетонов на жидком стекле из микрокремнезема. На протяжении всего исследуемого периода (30, 90, 180 и 360 сут) для всех исследуемых сред коэффициент химической стойкости составил более 0,8.

Стойкость к действию различных агрессивных сред изучаемых бетонов связана не только с высокой коррозионной стойкостью используемого заполнителя – песка из отсевов от дробления диабаз, но главным образом с химическим составом вяжущих и характером цементирующих новообразований. Так, с помощью электронно-микроскопического, рентгенофазового и дифференциально-термического анализа установлено, что в продуктах твердения щелочных вяжущих на жидком стекле из микрокремнезема отсутствует свободная известь, выщелачивание которой приводит к разрушению цементного камня на основе портландцемента, а также высокоосновные гидросиликаты кальция, способствующие сульфатной коррозии бетонов, содержащих портландцемент. Поэтому значения коэффициента стойкости исследуемых материалов в 5% растворе Na_2SO_4 достаточно высоки и составляют 0,85–1,1.

При действии слабых растворов кислот на образцы зола- и золошлакощелочных бетонов происходит частичная нейтрализация свободной натриевой щелочи, содержащейся в жидком стекле и не связанной гидратными новообразованиями, и, как следствие, замедление диффузии растворов кислот в глубь образцов. Кислоты, нейтрализуя имеющуюся в теле вяжущих свободную щелочь, почти не затрагивают при этом новообразований, обладающих к тому же малой растворимостью и высокой прочностью. При этом сам коррозионный процесс происходит в поверхностных слоях бетона. Что касается нескольких больших показателей ($K_c = 0,9–1,15$) коррозионной стойкости бетонных образцов в растворе серной кислоты (по сравнению с соляной, где $K_c = 0,85–0,98$), то, возможно, это связано с дополнительной сульфатной активацией золошлаковых компонентов вяжущих и различной растворимостью продуктов коррозии.

Как известно, основными факторами, определяющими стойкость бетонов к действию агрессивных сред, являются: устойчивость структурообразующих продуктов гидратации вяжущего; плотность цементного камня и бетона; способность к частичному или полному вос-

Таблица 1

Влияние типа микрокремнезема на кислотостойкость (5% раствор H₂SO₄) золощелочного бетона

Тип микрокремнезема	Содержание в микрокремнеземе примесей (C+SiC), мас. %	Свойства бетона				
		Сразу после ТВО		После ТВО и дальнейшего испытания на кислотостойкость		
		Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Кислотостойкость (K _{х.с.})
I	4,85 + 6,2 = 11,05	8,2	29,2	7,9	33,6	1,1
II	5,25 + 5,4 = 10,65	6,3	27,8	6,5	32,3	0,97
III	4,25 + 4,8 = 9,05	6,1	26,5	6	31,7	0,93
IV	7 + 1,9 = 8,9	5,8	24,6	5,6	31	1,17
V*	0	5,2	21,3	4,8	24,7	0,84

* Данные по промышленному жидкому стеклу из силикат-глыбы (не содержит примесей графита и карборунда).

Таблица 2

Влияние вида заполнителя на кислотостойкость (5% раствор H₂SO₄) золощелочного бетона

Свойства бетона	Вид заполнителя	
	Шлаковая составляющая ЗШС	Песок из отсева от дробления диабаз
Сразу после ТВО: – предел прочности при изгибе, МПа – предел прочности при сжатии, МПа	5,1 18,9	5 24,5
После ТВО и дальнейших испытаний на кислотостойкость: – предел прочности при изгибе, МПа – предел прочности при сжатии, МПа – коэффициент химической стойкости	6,1 29,4 1,15	4,7 20,5 0,98

Примечание. Состав бетонов, свойства и расход жидкого стекла в обоих случаях одинаковы.

становлению разрушений за счет дальнейшей гидратации непрореагировавших частиц вяжущего [5,6].

Щелочные и щелочно-щелочно-земельные вяжущие, а также бетоны на их основе отличаются высокой плотностью и однородностью затвердевшего камня, особенностями пористой структуры – преобладанием гелевых пор и микропор сферической формы [1]. Безусловно, эти факторы также оказывают на коррозионную стойкость исследуемых бетонов немаловажное влияние. Однако при этом не следует забывать, что вяжущие на жидком стекле из микрокремнезема БЗФ существенно отличаются от известных [7] – содержат в своем составе мельчайшие кристаллические частицы графита (С) и карбида кремния (SiC) [2,3,8]. Результаты экспериментов, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что примеси, содержащиеся в жидком стекле из микрокремнезема, не только не снижают, но даже способствуют повышению коррозионной стойкости золощелочного бетона. Как известно, одной из основных теоретических предпосылок прочности, коррозионной стойкости и долговечности строительных композитов является создание оптимальной микроструктуры цементного камня, уменьшение пористости и повышение трещиностойкости за счет направленного применения минеральных наполнителей. В исследуемых материалах для активного управления структурой бетонных смесей и коррозионно-стойких бетонов используются примеси жидкого стекла – частицы графита и карбида кремния. Обладая высокой химической стойкостью в самых различных средах, С и SiC являются тонкой составляющей твердой фазы коррозионно-стойких бетонов, выполняя роль коррозионно-стойкого микронаполнителя. Поэтому вполне очевидно, что частицы графита и кар-

борунда, располагаясь в порах вяжущего, создают тем самым физическую структуру цементного камня и, обладая к тому же высокой химической стойкостью, они способствуют повышению коррозионной стойкости исследуемого бетона. Причем, как видно, с увеличением суммарного содержания С и SiC коррозионная стойкость бетона к действию 5% раствора H₂SO₄ возрастает. Исключение составляет лишь бетон на жидком стекле из микрокремнезема IV типа. В этой связи необходимо обратить особое внимание на высокую химическую стойкость графита, благодаря чему он традиционно используется в качестве наполнителя в химически стойких материалах.

Таким образом, выполненные эксперименты показали, что мелкозернистые бетоны на основе ЗШВ и ЗШЩВ с использованием жидкого стекла из микрокремнезема обладают достаточно высокой коррозионной стойкостью в самых различных агрессивных средах, что обусловлено особенностями химического состава и характера цементирующих новообразований, поровой структурой вяжущих, а также наличием примесей жидкого стекла. Присутствие последних способствует более быстрому формированию низкоосновных гидросиликатов кальция и цеолитоподобных новообразований, уменьшению пористости материала, а их высокая химическая стойкость придает бетонам повышенную коррозионную стойкость.

Между тем известно, что наиболее уязвимым местом всех композиционных материалов является контактная зона вяжущее–заполнитель. Именно с контактной зоны начинается проникновение агрессивных сред в глубь материала и его разрушение. На наш взгляд, весьма эффективным является использование в качестве заполнителя

шлаковой составляющей отвальной ЗШС (табл. 2). Вполне очевидно, что при замене коррозионностойкого, но инертного заполнителя (песок из отсева дробления диабаз) на химически активный (шлак ЗШС) происходит активное взаимодействие жидкого стекла с частицами заполнителя по поверхности, так как шлак представляет собой алюмосиликатное сырье, как и зола, используемая в качестве компонента вяжущего. В результате этого заполнитель плавно переходит в цементную матрицу, а контактная зона как таковая отсутствует. К этому следует добавить, что по контактной зоне дополнительно формируются химически стойкие низкоосновные гидросиликаты кальция и цеолитоподобные новообразования, что способствует уплотнению структуры бетона и снижению его проницаемости. Физико-химические процессы твердения вяжущих систем приводят к образованию прочного конгломерата сложного химического состава с капиллярно-пористой структурой цементного камня, обладающего высокоразвитой поверхностью новообразований, в значительной степени определяющего интенсивность коррозионных процессов между внешней средой и бетоном. Поэтому коэффициент химической стойкости золощелочного бетона на основе шлакового заполнителя составляет более 1.

Экономическая эффективность производства изделий из разработанных бетонов заключается в замене дальнепривозного и высокоэнергоемкого жидкого стекла из силикат-глыбы на менее энергоемкое жидкое стекло из микрокремнезема, снижении трудо- и материалозатрат. Производство предлагаемых материалов и изделий не вызывает дополнительных нагрузок межрегиональных транспортных линий, поскольку все сырьевые компоненты являются местными материалами. Более того, это многотоннажные промышленные отходы, которые на сегодняшний день мало где применяются (как правило, вывозятся в отвалы). При этом

для «производителей» отходов устраняется необходимость бюджетных платежей за образование и размещение отходов, повышается рентабельность основного производства. Для потребителей отходов снижается себестоимость материалов, расширяется номенклатура, повышается качество продукции. Для населения — улучшается экологическая обстановка в городе.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, жидкое стекло, микрокремнезем, примеси, графит, карборунд, заполнитель, коэффициент химической стойкости, мелкозернистые золо- и золошлакощелочные вяжущие.

Список литературы

1. Глуховский В.Д. Щелочные вяжущие системы // Цемент. 1990. № 6. С. 3–7.
2. Русина В.В. Жидкое стекло из микрокремнезема // Изв. вузов. Строительство. 2004. № 9. С. 122–125.
3. Русина В.В., Тарасова Н.Ю. Сравнительная оценка микрокремнезема различных полей // Изв. вузов. Строительство. 2007. № 10. С. 86–93.
4. Русина В.В., Грызлова Е.О. Особенности состава и свойств отвальной золошлаковой смеси // Строительные материалы. 2009. № 5 / Результаты научных исследований. С. 62–64.
5. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат, 1952. 342 с.
6. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
7. Корнеев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла: Жидкое стекло. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд., 1991. 176 с.
8. Русина В.В. Закономерности формирования состава и свойств микрокремнезема // Бетон и железобетон. 2009. № 3. С. 20–23.

ВЫСТАВКА

СТИМэкспо

СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

ВОДА. ТЕПЛО. ГОРОД-ЖИК

12-15 ОКТЯБРЯ 2011

Ростов-на-Дону





ВАШ КОНСУЛЬТАНТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- ▶ **строительно-монтажные и ремонтно-отделочные работы;**
- ▶ **оборудование для строительства и ремонта, материалы, инструменты;**
- ▶ **архитектурные проекты и ландшафтный дизайн;**
- ▶ **системы водо- и теплоснабжения, кондиционеры, сантехника.**



пр. М. Нагибина, 30, тел. (863)268-77-68, volodko@vertolexpo.ru, www.vertolexpo.ru

Генеральный информационный спонсор:
Синдика

Генеральный информационный партнер:
BLIZKO

Ведущий информационный спонсор:
ЭКСПЕРТ

Региональный информационный спонсор:
Вестник

Г.С. СЛАВЧЕВА, д-р техн. наук, С.Н. ЧЕМОДАНОВА, инженер (shemodan.83@mail.ru), Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Влияние параметров структуры на влажностные деформации высокопрочного модифицированного бетона

Представленные в данной публикации результаты являются продолжением работ [1, 2], в которых исследовались влажностные деформации высокопрочного бетона нового поколения (НРС) с модифицированной структурой. При формулировке проблемы и рассмотрении в ее контексте комплекса эксплуатационных изменений состояния и свойств материала в строительных конструкциях влажностные деформации определены в качестве одной из главных причин трещинообразования, накопления повреждений. Бетон НРС обладает микропористой, высокодисперсной структурой, характеризуемой высоким запасом внутренней энергии. Поэтому при влажностных эксплуатационных воздействиях мера деформативности высокопрочного бетона, определяемая балансом сил связи воды с твердой фазой и поровым пространством, может характеризоваться определенными отличительными особенностями.

С учетом сказанного экспериментальное изучение факторов, определяющих величину влажностных деформаций высокопрочного бетона нового поколения, и разработка технологических приемов управления ее величиной имеют важное практическое значение.

При исследовании деформирования высокопрочного бетона на первом этапе осуществлены эксперименты с цементным микробетоном [2], так как полагалось, что результаты имеют обобщенное значение для бетона, в котором соответствующий состав микробетона выполняет роль матрицы. В данной публикации представлены результаты второго этапа экспериментов, в которых использовали составы высокопрочного модифицированного бетона, рекомендованные специалистами НИИЖБ [3] для промышленного внедрения (табл. 1). Структуру цементующего вещества регулировали варьированием дозировки модификатора.

С целью моделирования эксплуатационных условий усадки-набухания бетона эксперименты вели в квазистатическом режиме испытания образцов в гигростатах.

Для этого образцы нормального 28 сут твердения размером 160×40 мм при толщине не более 10 мм, выпиленные из предварительно отформованного массива, после высушивания при $t = 100-105^{\circ}\text{C}$ и охлаждения в эксикаторе над безводным хлористым кальцием помещали в гигростаты с парциальным давлением: $p/p_0 = 0,2; 0,32; 0,55; 0,75; 0,99$; исследование усадки осуществляли в тех же модельных средах, в которые помещались образцы после водонасыщения. Посредством периодического взвешивания и измерения длины в течение 160 сут следили за кинетикой изменения влажностного состояния и развитием деформаций материала.

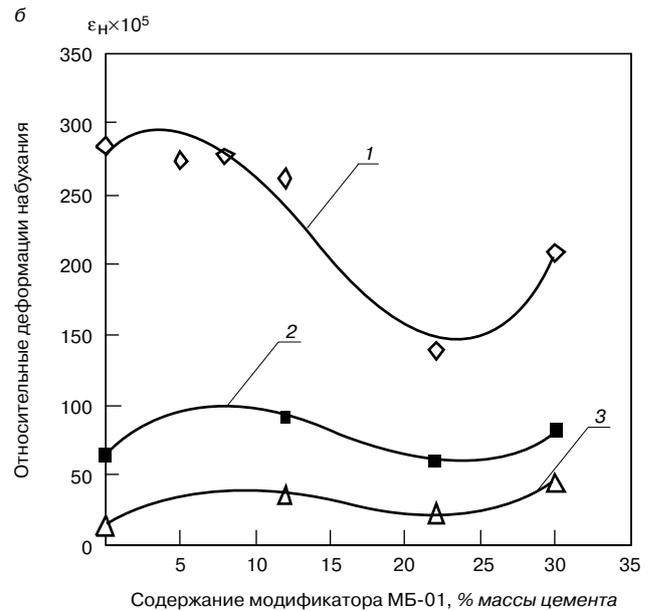
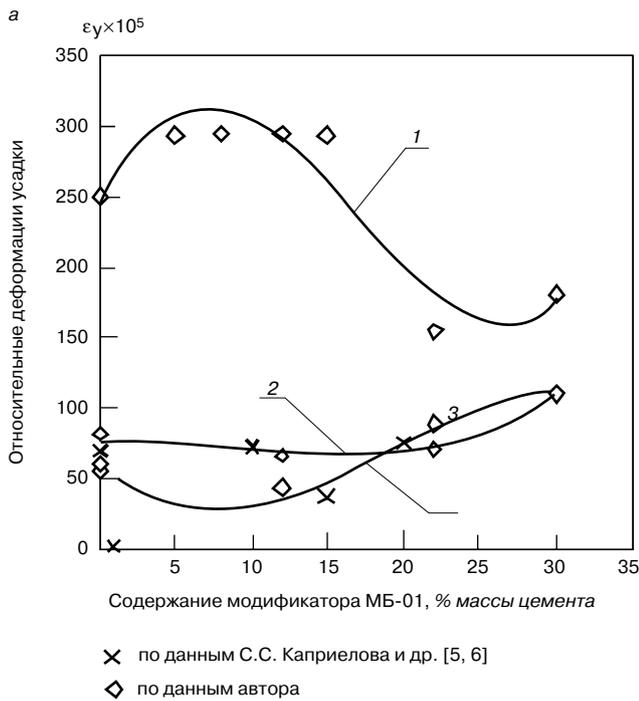
При исследовании обеспечивали комплексное применение методов идентификации структуры для ее количественного описания (табл. 2). Минералогический состав цементующего вещества, степень гидратации цемента определяли с помощью рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии. Удельную площадь поверхности твердой фазы оценивали двумя независимыми методами: методом Пауэрса (по емкости монослоя адсорбированных молекул воды при парциальном давлении водяного пара $p/p_0 = 0,2$), а также четырехточечным методом БЭТ (по адсорбции азота на приборе SoftSorbi).

Результаты первого этапа исследований деформаций усадки цементного модифицированного микробетона позволили заключить, что ее величина прямо соотносится с количественным содержанием модификатора МБ-01 и характеризуется минимальными значениями полной усадки и в эксплуатационном диапазоне обезвоживания при его дозировке 15–22% массы цемента. Одновременно установлено, что изменение структуры микробетона при модифицировании (уменьшение объема и среднего радиуса пор, повышение дисперсности и площади поверхности частиц твердой фазы (табл. 2) оказывается фактором роста силы взаимодействия материала с водой и уровня усадочных напряжений при изменении влагосодержания материала. Для их оценки

Таблица 1

Характеристика факторного пространства исследований

Вид материала	Используемые компоненты	Варьируемые рецептурно-технологические факторы	Характеристика сырьевых материалов
Бетон на мелком заполнителе	Цемент+вода	В/Ц = 0,3–0,35, осадка конуса ОК = 22 см, расход цемента 550–690 кг/м ³	Цемент М500Д0 Модификатор МБ-01: МК – 88,9%; СП – 10%; РТ – 0,01%; S _{уд} = 170 м ² /кг Песок кварцевый M _{кр} = 1,6 Щебень гранитный фракции 5–20 см
	Модификатор МБ-01	Массовая доля МБ-01 = 0–30% массы цемента	
	Песок кварцевый	Расход песка 1350–1400 кг/м ³	
Бетон на крупном заполнителе	Цемент+вода	В/Ц = 0,3–0,33, осадка конуса ОК = 20 см, расход цемента 475–530 кг/м ³	
	Модификатор МБ-01	Массовая доля МБ-01 = 0–22% массы цемента	
	Песок кварцевый	Расход песка 600–620 кг/м ³	
	Щебень	Расход щебня 1100–1250 кг/м ³	



Зависимость относительных деформаций усадки (а) и набухания (б) от содержания комплексного модификатора МБ-01 на стадии и в диапазоне эксплуатационного изменения влагосодержания: 1 – цементный микробетон; 2 – бетон на мелком заполнителе; 3 – бетон на крупном заполнителе

использовали показатель удельных относительных деформаций при изменении влагосодержания. Подчеркнем, что данный показатель является аналогом коэффициентов влажностного деформирования (линейной усадки β и набухания η), которые традиционно используются [4] для расчета величины влажностных напряжений в конструкциях. Установлено, что повышение энергетического потенциала твердой фазы и порового пространства модифицированного микробетона определяет увеличение в 1,5–2 раза удельной деформации набухания-усадки в диапазоне эксплуатационного изменения влагосодержания.

По результатам второго этапа экспериментальных исследований установлена неоднозначность влияния увлажнения-обезвоживания на величину влажностных деформаций высокопрочных модифицированных бетонов. Параметры их структуры предопределяют небольшой диапазон изменения эксплуатационного влагосодержания (4–5%). Установлено, что в отличие от традиционных бетонов, у которых составляющие макроуровня структуры (зерна крупного и мелкого заполнителя) позволяют снизить величину деформаций бетона в 5–6 раз по отношению к микробетону, для модифицированных бетонов возможно изменить значения пока-

Параметры структуры цементного микробетона

Таблица 2

Параметры структуры		Массовая доля модификатора МБ-01, % массы цемента			
		0	12	22	30
Степень гидратации цемента, %		82	54	64	70
Объем твердой фазы, м ³ /м ³		0,66	0,7	0,77	0,76
Удельная площадь поверхности твердой фазы, м ² /г	по адсорбции водяного пара	82,2	33,6	34,2	70,9
	по адсорбции азота	3,91	2,79	3,62	5,13
Общий объем пор, м ³ /м ³		0,34	0,3	0,23	0,24
Содержание пор радиусом r_0 в % от общего объема пор	< 20 нм	24	31	40	31
	> 20 нм	76	69	60	69
Плотность средняя, кг/м ³		1680	1820	2010	1920

Величина удельных деформаций усадки и набухания высокопрочных модифицированных бетонов при изменении их влагосодержания в эксплуатационном диапазоне

Таблица 3

Массовая доля модификатора, % массы цемента		0	12	22	30
Удельные деформации, (мм/м)/(%ΔW)	усадки	0,2–0,23	0,25–0,27	0,4–0,42	0,45–0,47
	набухания	0,07–0,1	0,18–0,22	0,21–0,23	0,25–0,28

зателей деформативности всего в 1,5–2 раза (см. рисунок). Принципиально важно, что разница в величине деформаций набухания и усадки модифицированных микробетона и бетона может составить не более 50%. Вследствие этого значения удельной усадки повышаются в 1,5–2,5 раза по отношению к бетонам традиционной немодифицированной структуры (табл. 3).

Таким образом, модифицирование структуры цементирующего вещества бетонов настолько значительно изменяет энергетический потенциал поверхности твердой фазы и порового пространства, что это определяет возрастание величины полных и удельных деформаций набухания-усадки по сравнению с немодифицированным бетоном. Это подтверждает тезис о приоритетном вкладе структурных составляющих микро- и наночастиц в формирование свойств высокопрочного модифицированного бетона нового поколения. Важно отметить, что для бетона по отношению к микробетону характерен более существенный рост деформаций при содержании модификатора 20–30% массы цемента, наиболее явно выраженный для бетона на крупном заполнителе (см. рисунок).

На основании полученных данных можно заключить, что при получении бетона и регулировании его свойств использованием комплексных модификаторов серии «МБ» на основе микрокремнезема и суперпластификатора может существовать противоречие в направлении выбора рациональной дозировки модификатора с точки зрения обеспечения его прочности и приемлемых характеристик эксплуатационной деформируемости. В составах, рекомендованных специалистами НИИЖБ для промышленного внедрения [3, 5, 6], содержание модификатора изменяется в диапазоне 10–30% массы цемента, что позволяет получить бетон классов по прочности В60–В90. В области значений до-

зировок модификатора 15–22% массы цемента обеспечиваются значения деформаций набухания-усадки не выше, чем для немодифицированного бетона с аналогичным расходом цемента, и одновременно при указанных дозировках имеется возможность получить бетоны классов В60–В80.

Ключевые слова: высокопрочные модифицированные бетоны, эксплуатационная среда, влажностные деформации.

Список литературы

1. Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Физико-химическая природа взаимосвязи свойств строительных материалов с их влажностным состоянием // Academia. Архитектура и строительство. 2008. № 1. С. 87–92.
2. Славчева Г.С., Чемоданова С.Н. Влажностные деформации модифицированного цементного камня // Строительные материалы. 2008. № 5. С. 70–72.
3. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // Бетон и железобетон. 1995. № 4. С. 16–20.
4. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести бетона. М., 2004. 712 с.
5. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Карпенко Н.И. и др. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона // Бетон и железобетон. 2003. № 3. С. 2–7.
6. Иссерс Ф.А., Булгакова М.Г., Вершинина Н.И. Прочностные и деформативные свойства высокопрочных бетонов с модификатором МБ 10-01 // Бетон и железобетон. 1999. № 3. С. 6–9.

5-7 октября 2011
ВОРОНЕЖ

В бизнес-программе выставки:

- Строительная техника
- Геодезия
- Строительный и измерительный инструмент
- Архитектура и проектирование
- Инженерные сети
- Теплоизоляция
- Энергосбережение в строительстве
- Промышленность строительных материалов
- Гражданское строительство
- Реконструкция
- Отделочные материалы
- Отопление
- Электрообеспечение
- Водоснабжение
- Климатотехника. Вентиляция
- Системы безопасности
- Средства защиты. Спецодежда
- Интерьер. Дизайн
- Риэлторские, оценочные услуги
- Инвестиционная деятельность
- Банки, страховые компании
- Инновационные проекты в строительной индустрии
- Информационные технологии в строительстве

Поддержка:

- Под патронажем Торгово-промышленной палаты РФ
- Правительство Воронежской области
- Администрация городского округа г. Воронеж
- НП "Союз строителей Воронежской области"
- Ассоциация экономического взаимодействия субъектов РФ Центрального Федерального округа "Центрально-Черноземная"
- Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Организаторы:

Оргкомитет: Т./ф.: (473) 251-20-12 (многоканальный), 277-48-36 e-mail: stroy@veta.ru

Поддержка:

Подобная информация на www.veta.ru

В.Н. МИГУНОВ, канд. техн. наук (kisek90@mail.ru), доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; И.Г. ОВЧИННИКОВ, д-р техн. наук, Саратовский государственный технический университет

Моделирование влияния агрессивной газовой среды на долговечность обычных железобетонных конструкций и коррозию арматуры

Степень воздействия газовой агрессивной среды на строительные конструкции из различных материалов определяет СНиП 2.03.11–85 «Защита строительных конструкций от коррозии».

Нормативные параметры газовой среды в животноводческих зданиях по содержанию крупного рогатого скота и свиноводческих помещениях представлены в технологических нормах их проектирования НТП 1–99 «Нормы технологического проектирования предприятий крупного рогатого скота» и ВНТП 2–96 «Ведомственные нормы технологического проектирования свиноводческих предприятий». В этих нормах помещения животноводческих зданий разделены на соответствующие группы по наиболее неблагоприятным параметрам физических характеристик газовой среды:

1. Здания для взрослых животных и молодняка молочных пород (в районах с расчетной зимней температурой -25°C и ниже).
2. Помещения для животных мясных пород крупного рогатого скота.
3. Здания коровников для молодняка и скота на откорме.
4. Помещения для содержания холостых и супоросных свиноматок.
5. Помещения для содержания хряков.
6. Помещения для свиней на откорме.

Нормативные параметры газовой среды для соответствующих групп животноводческих помещений приведены в таблице.

Согласно СНиП 2.03.11–85 степень агрессивного воздействия газовой среды по отношению к металлическим конструкциям в шести группах животноводческих помещениях оценивается как среднеагрессивная. В данной среде нормативный документ запрещает применение строительных металлических конструкций без вторичной защиты.

Однако в процессе эксплуатации использование поверхностной противокоррозионной защиты строитель-

ных металлических конструкций в животноводческих зданиях является технически и экономически неэффективным. Одни виды покрытия, например лакокрасочные, имеют сравнительно небольшой жизненный ресурс защитного действия, исчисляемый несколькими годами, другие, такие как металлоизоляционные, — высокую стоимость по сравнению с использованием альтернативных видов конструктивных материалов.

Повышение долговечности несущих конструкций в газовой среде животноводческих зданий может быть получено за счет применения железобетонных конструкций.

Для приведенных групп помещений согласно СНиП 2.03.11–85 степень агрессивного воздействия газовой среды на конструкции из бетона оценивается как слабоагрессивная, а для железобетона — как среднеагрессивная.

В то же время условием соблюдения нормативного срока эксплуатации для железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в среднеагрессивной газовой среде, является требование СНиП 2.03.11–85 о применении вторичной защиты в виде кремнийорганических, полиуретановых, эпоксидных, перхлорвиниловых, хлоркаучуковых и тиоколовых лакокрасочных покрытий.

Главными причинами снижения нормативного срока эксплуатации обычных железобетонных конструкций в газовой среде в животноводческих зданиях является несоблюдение соответствующих нормативных требований по вторичной защите железобетонных элементов от коррозии и неучет в процессе проектирования последствий коррозионного поражения арматуры в расчетных поперечных трещинах бетона. Трещина в бетоне облегчает доступ внешней среды к поверхности арматуры и способствует быстрому возникновению и развитию коррозии стали как в месте пересечения арматуры и трещины, так и в зоне ее влияния. Проницаемость трещин для кислых газов мно-

Группа помещений	Характеристика атмосферы				
	Влажность, %	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Концентрация		
			H_2S , $\text{мг}/\text{м}^3$	NH_3 , $\text{мг}/\text{м}^3$	CO_2 , % по объему
1	85	3	1	20	0,25
2	85	3	5	20	0,25
3	75	10	10	15	0,25
4	75	13	10	20	0,2
5	75	13	10	20	0,2
6	70	14		20	0,2

го выше, чем у бетона без трещин. Эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в трещине бетона с шириной раскрытия $a_T = 0,20$ мм равен коэффициенту диффузии его в воздухе $D_{CO_2} = 0,14$ см²/с. Это на три порядка выше, чем в бетонах средней плотности [1].

Математическая обработка результатов натурных исследований коррозионного износа незащищенных 12 тыс. железобетонных ребристых плит покрытия на 85 животноводческих зданиях показала, что общий период эксплуатации этих конструкций до наступления аварийного состояния, главным образом из-за коррозии арматуры, составляет 25 лет вместо нормативных 50 [2].

Образующиеся коррозионные продукты арматуры в поперечных трещинах бетона способствуют образованию продольных трещин в защитном слое бетона вдоль несущих арматурных стержней с одновременным нарушением сцепления бетона с арматурой. Появление продольных трещин является показателем предаварийного состояния железобетонных конструкций [3].

Результаты обследования обычных железобетонных полурам, изготовленных из тяжелого бетона нормальной проницаемости, в газозвушной среде зданий свиноводческого комплекса «Тамалинский» в Пензенской области показали определяющее влияние на долговечность строительных конструкций процесса коррозии арматуры. Этому способствовал выявленный процесс нейтрализации бетона в зоне влияния поперечных трещин вдоль поверхностей стальных стержней. За 13 лет эксплуатации производственных сельскохозяйственных объектов среднее значение глубины карбонизации защитного слоя бетона толщиной 30 мм составило 17 мм. Из обследованных 86 полурам на 11 в защитном слое бетона вдоль арматурных стержней были зафиксированы продольные трещины с раскрытием 50 мкм и длиной более 1 м, что свидетельствует о протекании коррозионного процесса на арматуре [4].

Для исследования воздействия эксплуатационной переменной нагрузки на долговечность, прочностные и деформационные свойства железобетонных элементов в газозвушной среде животноводческого здания этого комплекса были проведены длительные испытания шести нагруженных прямых моделей несущих обычных железобетонных конструкций и девять контрольных ненагруженных, испытывающих такое же воздействие агрессивной среды, как и образцы под нагрузкой. В качестве прямых моделей использовались балки из тяжелого бетона класса В30 пониженной проницаемости с размерами 1500×200×70 мм. В качестве вяжущего применялся среднеалюминатный портландцемент с эффективным коэффициентом диффузии углекислого газа в бетоне $D = 0,17 \cdot 10^{-4}$ см²/с. Плоский арматурный каркас имел одиночную несущую арматуру класса А-III с маркой стали 35ГС и диаметром стержня 12 мм. Для получения объективных характеристик коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах зона чистого изгиба прямых моделей на расстоянии 600 мм была свободной от поперечной арматуры. Толщина защитного слоя бетона составляла $\delta = 30$ мм.

Опытные образцы испытывали воздействию переменной ступенчато-повторной нагрузки с минимальным уровнем нагружения 0,4–0,7 $M_{разр}$ и режимом приложения соответствующей нагрузки 14 сут в периоде цикла действия нагрузки и максимальным уровнем нагружения 0,7 $M_{разр}$ и режимом приложения нагрузки 14 сут. Опытная нагрузка моделировала воздействие снега на конструкции покрытия в реальных условиях их эксплуатации. Испытания прямых моделей проводи-

лись на силовых установках. Каждая установка рассчитана на одновременное нагружение двух балок на изгиб в условиях длительного воздействия переменной нагрузки и различных агрессивных сред [5].

Для стимуляции коррозии арматуры в трещинах бетона ее поверхность в течение первого года испытаний один раз в сутки увлажнялась раствором. Химический состав раствора аналогичен составу жидкой среды, получаемой в процессе жизнедеятельности животных. Жидкая среда содержит 95,7% воды и 4,3% сухих веществ: мочевины 2%, мочевой кислоты 0,05%, натрий-ионов 0,35%, калий-ионов 0,15%, магний-ионов 0,04%, кальций-ионов 0,06%, хлорид-ионов 0,6%, фосфат-ионов 0,27%, сульфат-ионов 0,78%.

Четыре балки были сняты с испытаний и подвергнуты разрушению с определением их несущей способности после четырех и двенадцати лет экспериментальных исследований, по два образца соответственно.

Ширина максимально раскрытых трещин $a_{ср} = 0,16$ мм при верхнем уровне нагружения после двенадцати лет испытания* (* в скобках приведены результаты после четырех лет испытания) увеличилась в 1,7 (1,6) раза, при нижнем – в 2,14 (2) раза. Величина жесткости балок при верхнем и нижнем уровнях нагружения уменьшилась в 1,78 (1,7) раза. Несущая способность конструкций оказалась ниже на 8% (3%), чем ненагруженных контрольных. Прочность бетона при сжатии контрольных кубиков 150×150×150 мм увеличилась к концу испытаний на 6 (4) МПа. Причиной увеличения прочности бетона является воздействие на бетон газозвушной среды с высокой относительной влажностью. Средняя глубина карбонизации бетона составила 10 (5) мм.

При испытаниях на растяжение стержней арматуры, извлеченных из железобетонных элементов, их разрушение происходило по участкам коррозионного поражения со средней глубиной не менее 150 мкм. Коррозионное поражение арматуры в зоне трещин бетона локализовалось на участке, длина которого с увеличением ширины раскрытия трещин до 0,27 (0,25) мм достигала 60 (50) мм с площадью коррозии 14 (12) см². Средняя и максимальная глубина коррозионных язв на арматуре в зоне трещин соответственно имела значения 120 и 240 (70 и 150) мкм.

После восемнадцати лет испытания двух образцов под нагрузкой получены следующие экспериментальные результаты. Ширина максимально раскрытых трещин $a_{ср} = 0,16$ мм при верхнем уровне нагружения увеличилась в 1,8 раза, при нижнем – в 2,27 раза. Жесткость балок при верхнем и нижнем уровнях нагружения уменьшилась в 1,82 раза. Данные изменения жесткости и ширины раскрытия трещин при верхнем и нижнем уровнях нагружения показывают существенное влияние продуктов коррозии арматуры на кинетику закрытия трещин при переходе с верхнего уровня переменной нагрузки на нижний. Несущая способность прямых моделей оказалась на 14% ниже, чем контрольных. Средняя глубина карбонизации бетона составила 14 мм.

Результаты испытаний показали, что снижение величины физико-механических характеристик арматуры диаметром 12 мм класса А-III наблюдается только при средней глубине коррозионного поражения более чем на 200 мкм. После восемнадцати лет испытания средняя глубина поражения стальных стержней в поперечных трещинах с шириной раскрытия $a_{ср} = 0,3$ мм составила $\delta_{ср} = 310$ мкм. По отношению к контрольным образцам арматуры, не подверженных коррозионному воздействию среды, физический предел текучести уменьшился на 20 МПа, что составляет 4,2%, а временное сопротивление – на 30 МПа, что составляет 4,5%.

На восемнадцатом году испытания на поверхности бетона защитного слоя в зоне чистого изгиба вдоль арматурных стержней отмечено появление отдельных волосных продольных трещин с шириной раскрытия 20–30 мкм, являющихся причиной прекращения длительного эксперимента. Наличие продольных трещин в защитном слое бетона вдоль несущей арматуры является главным фактором исчерпания нормативной долговечности железобетонных конструкций из-за нарушения сцепления арматуры с бетоном [6].

Результаты натуральных обследований железобетонных полурам и экспериментальных исследований на прямых моделях несущих железобетонных элементов показали необходимость использования в газовой среде животных клеток ингибиторов коррозии арматуры в железобетонных конструкциях из бетона пониженной проницаемости. Применение ингибиторов коррозии арматуры в виде добавок в бетонную смесь практически не отражается на отпускной стоимости железобетонных конструкций [7].

Кроме углекислого газа наиболее типичным представителем кислотных газов, часто встречающимся в промышленности, сельском хозяйстве и природных условиях, является сернистый ангидрид (SO_2). Сернистый газ взаимодействует со щелочными компонентами цементного камня в бетоне и образует сульфит-сульфат кальция, который малорастворим в жидкой фазе.

По механизму воздействия на коррозионный процесс стали сернистый ангидрид относится к эффективному деполяризатору катодного процесса. Поэтому уже при незначительной концентрации SO_2 в воздухе (0,015%) его содержание в электролитах становится соизмеримым с концентрацией кислорода.

Для исследования коррозионного поражения арматуры в условиях длительного воздействия сернистого ангидрида на обычные железобетонные конструкции были изготовлены 20, в том числе 10 контрольных, прямых моделей несущих железобетонных элементов размерами 2000×200×70 мм. Использовался тяжелый бетон класса В30 пониженной проницаемости. В качестве рабочей арматуры в плоском арматурном каркасе применялся одиночный стержень диаметром 12 мм класса А-III. В зоне чистого изгиба поперечная арматура отсутствовала. Балки испытывали воздействие постоянной длительно действующей нагрузки, моделирующей вес технологического оборудования на перекрытие.

Испытания образцов проводились в пяти герметичных камерах при постоянном воздействии агрессивной газовой среды. Приложение нагрузки к образцам осуществлялось с помощью нагружающих установок. В одной газовой камере располагалось по четыре образца. Балки испытывали воздействие газовой среды с концентрацией газа SO_2 , равной 100 мг/м³, в течение одного года. По степени агрессивного воздействия газообразной среды на железобетонные конструкции СНиП 2.03.11–85 оценивает ее как среднеагрессивную.

Коррозионное поражение на арматуре зафиксировано только в зоне поперечных трещин бетона. Оно локализуется на ограниченном участке, длина которого с увеличением ширины раскрытия трещин до 0,3 мм составляет 27 мм. Средняя и максимальная глубина коррозионных язв на арматуре в зоне максимально раскрытых трещин 50 и 70 мкм соответственно. Сравнительно низкая скорость коррозионного поражения арматуры объясняется наличием ее инкубационного периода, нормальной относительной влажностью газовой среды, присутствием в полости трещин продуктов коррозии цементного камня с сернистым ангидридом и отсутствием влияния перемен-

ной нагрузки, способствующей разрушению в области трещины образующего материала коррозии бетона и арматуры.

Результаты проведенных теоретических и практических исследований показали:

- в газовой среде животных клеток наиболее долговечным материалом является железобетон. В этих условиях эксплуатации долговечность обычных железобетонных конструкций определяется соблюдением выполнения требования СНиП 2.03.11–85 по обеспечению их вторичной защитой и коррозионной сохранностью арматуры в расчетных поперечных трещинах;
- по степени агрессивного воздействия газовой среда животных клеток зданий по отношению к эксплуатируемым обычным железобетонным конструкциям является сильноагрессивной, прежде всего из-за условия распространения коррозионного процесса вдоль арматурного стержня в зоне влияния поперечных трещин и возникновения продольных трещин в защитном слое бетона;
- для повышения коррозионной сохранности арматурных стальных стержней в поперечных трещинах бетона в среднеагрессивной газовой среде необходимо использовать ингибиторы коррозии арматуры в обычных железобетонных конструкциях;
- проведенные экспериментальные исследования на железобетонных прямых моделях в условиях длительного воздействия на них сернистого ангидрида и постоянной нагрузки не показали определяющего влияния сернистого газа на снижение долговечности образцов вследствие коррозионного поражения арматуры.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, металлические конструкции, прямые модели, животные клетки здания, газовой среда, долговечность, прочность, жесткость, коррозия арматуры, карбонизация, сернистый ангидрид.

Список литературы

1. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. С. 291, 309–315, 353–384, 397.
2. Кескюлла Т.Э., Мильян Я.А., Новгородский В.И. Коррозионное разрушение железобетонных конструкций животных клеток зданий // Бетон и железобетон. 1980. № 9. С. 43–45.
3. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. С. 137–167, 262.
4. Мигунов В.Н. Исследование долговечности железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в свиноводческих зданиях // Повышение долговечности строительных конструкций в агрессивных средах: Тез. докл. и сообщ. республ. науч.-техн. семинара. Уфа: НИИЖБ, НИИпромстрой, 1987. С. 71–73.
5. Мигунов В.Н. Установка для режимных испытаний железобетонных балок при действии медленно меняющихся нагрузок в присутствии агрессивной среды / Реферативный журнал «Строительство и архитектура». М.: ВНИИИС, 1983. Серия 17, вып. 7.
6. Москвин В.М., Алексеев С.Н., Вербецкий Г.П., Новгородский В.И. Трещины в железобетоне и коррозия арматуры. М.: Стройиздат, 1971. С. 22–23.
7. Новгородский В.И., Островский А.Б., Мигунов В.Н. Метод определения эффективности ингибиторов коррозии стали в трещинах бетона // Методические рекомендации по исследованию ингибиторов коррозии арматуры в бетоне. М.: НИИЖБ, 1980. С. 18–24.

ПРОИЗВОДСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Установка для испытаний методом
одноосного сжатия



Установка для испытаний методом
трехосного сжатия



Установка для испытаний методом
сдвига



Установка для испытаний методом
одноосного растяжения



Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-производственное предприятие «Геотек»
(ООО «НПП «Геотек»)
ул. Центральная, 1, г. Пенза, 440068,
Тел./факс (8412) 38-17-44
e-mail: info@geotek.ru, <http://www.geotek.ru>

И.Х. ИДРИСОВ, инженер (g-boldyrev@geotek.ru),
 Н.И. МАКРИДИН, д-р техн. наук, Д.Н. ВАЛЕЕВ, инженер,
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Комплексный подход к испытаниям материалов Часть 2. Идентификация параметров моделей материалов

В [1] был рассмотрен общий подход к испытанию материалов при различном виде напряженного состояния с целью определения их характеристик прочности и деформируемости. Ниже приведена методика идентификации результатов испытаний с использованием известных функциональных зависимостей между напряжениями и деформациями.

При расчете напряженно-деформированного состояния строительных конструкций из бетона или железобетона используют различные функциональные связи, полученные эмпирически. Известно большое количество эмпирических зависимостей между напряжениями и деформациями. Обширный обзор этих зависимостей можно найти в [2]. С целью изложения предлагаемой методики рассмотрим три наиболее часто применяемые деформационные зависимости.

В [3] приведена степенная зависимость вида:

$$\varepsilon = \alpha \sigma^m, \quad (1)$$

где коэффициенты α и m определяются опытным путем.

В следующей работе [4] приведена зависимость вида:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha \sigma^2, \quad (2)$$

где E – модуль упругости бетона; α – параметр, зависящий от свойств бетона.

По мнению Дункана–Чанга [5], нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями в условиях сложного напряженного состояния имеет гиперболическую зависимость вида:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\varepsilon_1}{a + b\varepsilon_1}, \quad (3)$$

где σ_1 и σ_3 – наибольшие и наименьшие главные напряжения; ε_1 – вертикальная деформация; a и b – константы грунта, определяемые экспериментально; константа a – обратная величина модулю упругости E ; b – обратная величина асимптотического (предельного) значения разности главных напряжений $(\sigma_1 - \sigma_3)_{lim}$, которая связана с прочностью материала.

Для задачи оптимизации необходимо использовать обратные зависимости – вертикальных напряжений от относительных вертикальных деформаций, поэтому исходные функции (1), (2) были преобразованы следующим образом.

Функция (1) преобразуется в следующий вид:

$$\sigma(\varepsilon) = m \sqrt[m]{\frac{\varepsilon}{\alpha}}, \quad (4)$$

где $\alpha \neq 0$.

Функция (2) является квадратным уравнением вида $a x^2 + b x + c = 0$ и решается стандартным способом через определение дискриминанта:

$$\alpha \sigma^2 + \frac{1}{E} \sigma - \varepsilon = 0; \quad D = \frac{1}{E^2} + 4\varepsilon\alpha; \quad \sigma = \frac{-\frac{1}{E} \sigma \pm \sqrt{D}}{2\alpha}. \quad (5)$$

Уравнение имеет два решения, из них одно подразумевает уменьшение значения параметра σ с увеличением значения параметра ε , что не имеет смысла для зависимостей, полученных в ходе испытаний на одноосное сжатие, поэтому функция имеет одно решение вида:

$$\sigma(\varepsilon) = \frac{-\frac{1}{E} \sigma + \sqrt{\frac{1}{E^2} + 4\varepsilon\alpha}}{2\alpha}. \quad (6)$$

Следует отметить, что в уравнении (6) должно быть $\alpha > 0$, иначе функция будет иметь значения, не соответствующие опытным. Поэтому для функции оптимизации необходимо возвращать заведомо большую величину для формирования большой погрешности:

$$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{-\frac{1}{E} \sigma + \sqrt{\frac{1}{E^2} + 4\varepsilon\alpha}}{2\alpha}; & \text{если } \alpha \geq 0 \\ \infty; & \text{если } \alpha < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Функция (3) ($\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\varepsilon_1}{a + b\varepsilon_1}$) не требует преобразований:

$$\sigma(\varepsilon) = \frac{\varepsilon}{a + b\varepsilon}. \quad (8)$$

При подготовке данных испытаний приняты следующие допущения:

1. Математические зависимости вида (1–3) не поддерживают описание разупрочнения материала (рис. 1, участок АВ), поэтому в дальнейшем участки разупрочнения из опытных данных исключаются.

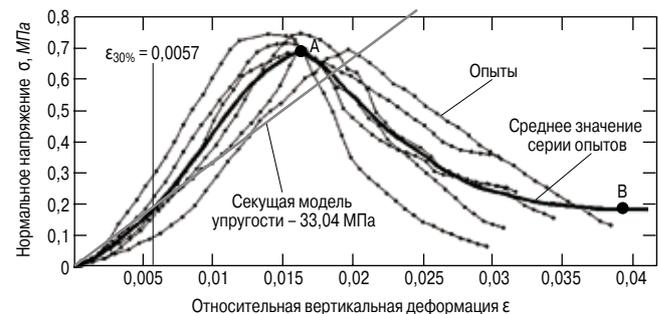


Рис. 1. Зависимость осевой деформации от нормального давления для шлакогрунтовой смеси с 10% шлака и 2% NaOH в возрасте 28 сут

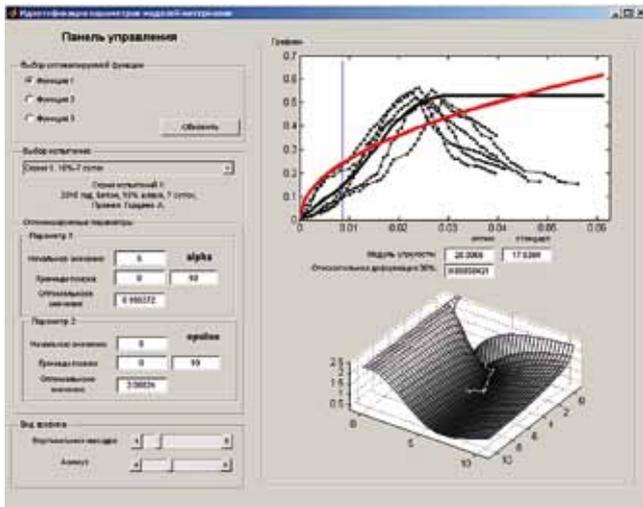


Рис. 2. Идентификация параметров зависимости (1)

2. Результаты опытов на участке относительной деформации $\varepsilon \in [\varepsilon_{ult}; \varepsilon_{ult} * 1,5]$ принимаются в виде зависимости:

$$\sigma(\varepsilon) = \sigma_{uit}, \quad (9)$$

где ε_{uit} и σ_{uit} — соответственно относительные деформации и вертикальные напряжения в момент разрушения образца.

3. Результаты опытов, используя кусочно-линейную интерполяцию, преобразуются в табличный вид, где относительные деформации ε изменяются с постоянным шагом.

В программной части ИВК АСИС [1] предусмотрены две процедуры идентификации параметров моделей материалов. Первая основана на анализе динамического процесса при известной целевой функции вида (1–3), а вторая включает идентификацию результатов и численное моделирование испытания при выбранной целевой функции, представляющей собой модель материала.

В общем случае задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом. Надо найти такой набор параметров x , чтобы скалярная целевая функция $F(x)$ была минимальной. Наиболее часто при калибровке параметров моделей материалов используется метод наименьших квадратов, сущность которого заключается в минимизации суммы квадратов разницы между предсказанием математической модели и наблюдениями.

В результате испытаний напряжения и деформации представлены в виде функции:

$$\sigma_i = f(\varepsilon_i), \quad (10)$$

где σ_i , ε_i — напряжения и деформации соответственно.

Пример подобной зависимости показан на рис. 1, которая получена в результате испытаний шлакогрунта

в условиях одноосного сжатия с использованием ИВК АСИС [1].

Зависимость на рис. 1 получена как среднее значение из шести испытаний. Из прямолинейного участка данной зависимости найден модуль упругости как отношение $\Delta\sigma_1/\Delta\varepsilon_1$, равный 33,04 МПа. Это обычный прием определения модуля упругости, рекомендуемый ГОСТ 24452–80. Далее это значение модуля упругости использует конструктор для определения деформации бетона в реальном проекте.

Используя выражение (10), задачу минимизации можно записать в виде:

$$\min_k \sum_{i=1}^n [\omega_i (\sigma_i^*(k_i) - \sigma_i)]^2, \quad (11)$$

где σ_i^* — напряжения, вычисляемые с использованием модели материала; k_i — идентифицируемые параметры модели материала.

В данной работе все весовые коэффициенты приняты за единицу, а задача минимизации модернизирована применением функции логарифма следующим образом:

$$\min_k \sum_{i=1}^n \ln(1 + [(\sigma_i^*(k_i) - \sigma_i)]^2). \quad (12)$$

Данное преобразование способствует повышению эффективности метода поиска минимума.

Целевая функция $F(x)$ зависит от измеренных и расчетных данных и может быть очень сложной и содержать ошибки, обусловленные как моделью материала, так и результатами измерений при испытании материала. В подобных случаях решение может расходиться или сходиться медленно, поэтому следует выбирать метод оптимизации, дающий устойчивую сходимость при требуемой точности и эффективности.

В локальном методе оптимизации точность решения определяется выражением:

$$F(x^*) < F(x) \quad (13)$$

при условии $\|x - x^*\| < \varepsilon$.

В данной работе в качестве примера использовали функцию линейной оптимизации `fminsearch` пакета Matlab, которая предназначена для поиска минимума скалярной функции нескольких переменных с заданного начального приближения. Данная функция использует симплекс-метод, являющийся методом прямого поиска без ограничений и без использования градиентов.

Предлагаемая процедура была применена при определении модуля упругости шлакогрунта. Начальное значение модуля упругости материала, определенное экспериментально в условиях одноосного сжатия, равно 33,04 МПа. В качестве целевой функции выбирали зависимость (1–3), которые подставляли в функцию для поиска минимума:

$$F(k) = \sum_{i=1}^n \ln(1 + [(\sigma_i^*(k_i) - \sigma_i)]^2). \quad (14)$$

В данной задаче модуль упругости определяли по тангенсу угла наклона секущей линии оптимизирован-

Материал	Значения модуля упругости E, МПа			
	По ГОСТ 24452–80	Функция (1)	Функция (2)	Функция (3)
		$\sigma(\varepsilon) = m\sqrt{\frac{\varepsilon}{\alpha}}$	$\sigma(\varepsilon) = \frac{-\frac{1}{E}\sigma + \sqrt{\frac{1}{E^2} + 4\varepsilon\alpha}}{2\alpha}$	$\sigma(\varepsilon) = \frac{\varepsilon}{a+b\varepsilon}$
Глина+10% шлака, возраст 7 сут	17,04	28,01	26,03	26,55
Глина+10% шлака, возраст 28 сут	33,04	57,71	53,23	55,2

ной математической модели. За точки пересечения секущей с линией оптимизированной математической модели принимали точку нулевой деформации и точку со значением относительной деформации, равным 30% ϵ_{uit} . Значения напряжений и относительной деформации на второй точке обозначены $\sigma_{uit30\%}$ и $\epsilon_{uit30\%}$ соответственно, а значение модуля упругости определяется по следующей формуле:

$$E = \frac{\sigma_{uit30\%}}{\epsilon_{uit30\%}}. \quad (15)$$

Для визуализации решения задачи в среде Matlab была создана пользовательская форма (рис. 2), предоставляющая возможность выбора функции модели материала из трех представленных вида (1–3), задания начальных значений параметров модели материала, их диапазона, отображение обозначений оптимизируемых параметров; вывода двухмерных графиков с отображением испытаний, средней функции и функции модели материала после оптимизации; вывода трехмерного графика с отображением функции ошибки, используемой для оптимизации параметров моделей; отображения пути поиска минимума функции ошибки на трехмерном графике от точки начального приближения до точки минимума; отображения значений $\epsilon_{uit30\%}$ и E .

На рис. 2 показан пример идентификации параметров для выражения (1).

Расчеты показали, что на первых итерациях цикла оптимизации значения деформаций и напряжений, определяемые выражением (1), резко отличаются от опытных значений. В ходе минимизации целевой функции (14) расчетные значения деформаций и напряжений приближаются к опытным.

Результаты оптимизации приведены в таблице. Как видно из таблицы, значения упругого модуля получаются различными при использовании выражений (1–3). Модуль упругости после идентификации параметров с использованием функций (1–3) превышает значения, определенные по ГОСТ 24452–80. Таким образом, если использовать выражения (1–3) для определения деформации грунтобетона до уровня $\epsilon_{uit30\%}$, то в данные выражения следует вводить значения модуля упругости, отличные от определенных по ГОСТ 24452–80. В этом случае напряженно-деформированное поведение рассчитываемых конструкций, например оснований, упрочненных шлаковым вяжущим, будет адекватным результатам испытаний образцов материала.

Ключевые слова: сложное напряженно-деформированное состояние, модуль упругости, функция оптимизации.

Список литературы

1. Идрисов И.Х., Макридин Н.И. Комплексный подход к испытаниям материалов. Часть 1 // Строительные материалы. 2011. № 6. С. 55–58.
2. Гарибов Р.Б. Сопrotивление железобетонных несущих конструкций при агрессивных воздействиях окружающей среды: Дис... д-ра техн. наук. Саратов, 2006. 630 с.
3. Столяров Н.В. Введение в теорию железобетона. М.–Л.: Госстройиздат, 1941. 446 с.
4. Шейкин А.Е. К вопросу прочности, упругости и пластичности бетона: Труды МИИТ. Вып. 69. М.: Трансжелдориздат, 1946. С. 24–28.
5. Duncan J.M., Chang C.Y. Nonlinear analysis of stress and strain in soils // Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. 1970. Vol. 96. Pp. 1629–1653.

International Forum of «Housing Public Facilities-Expo-2011»
2-4 ноября
2-4 of November

Международный Форум «ЖКХ-Экспо-2011»

- Энергосбережение. Инновационные технологии.
- Энергоснабжение, теплоснабжение.
- Системы водоснабжения, водоочистки и водоотведения.
- Современные строительные технологии и материалы.
- Системы отопления, вентиляции, канализации.
- Проектирование. Строительство.
- Строительная, коммунальная техника и оборудование.
- Электротехническое и электрооборудование.
- Инженерные сети, коммуникации.
- Лифтовое хозяйство.
- Сбор и утилизация бытовых и промышленных отходов.
- Инфраструктура, благоустройство и озеленение.
- Ландшафтный дизайн и архитектура.

Партнеры: FAIR EXPO, АККА, effect ENERGY.eu

Организатор: Выставочная компания ООО «СибЭкспоСервис-Н» г. Новосибирск, тел: (383)3356350, e-mail: ses@avmail.ru, www.ses.net.ru

Официальная поддержка: Агентство РК по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Акимат г. Астаны

Ю.С. ВЫТЧИКОВ, канд. техн. наук, Самарский государственный архитектурно-строительный университет; В.М. ГОРИН, канд. техн. наук, генеральный директор, С.А. ТОКАРЕВА, директор, ЗАО «НИИКерамзит» (Самара)

Исследование теплофизических характеристик стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона

Для реализации национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» требуются относительно недорогие долговечные стеновые строительные материалы, обладающие повышенными теплозащитными характеристиками. К таким материалам относятся стеновые камни из беспесчаного керамзитобетона.

Согласно ГОСТ 530–2007 [1] теплопроводность кладки из керамзитобетонных камней должна определяться в климатической камере.

Для проведения данного вида испытаний необходимо выполнить фрагмент кладки из керамзитобетонных камней на цементно-песчаном или «теплом» растворе.

Эксперимент по определению сопротивления теплопередаче кладки из стеновых материалов проводится примерно через три недели после естественной сушки. В процессе эксперимента регистрируется влажность камней. По результатам испытаний в климатической камере устанавливается зависимость теплопроводности фрагмента кладки наружной стены от влажности материала.

Испытания в климатической камере требуют значительных материальных и временных затрат, и поэтому их следует проводить на стадии проведения сертификационных испытаний строительных материалов после выпуска опытной партии на действующей линии.

Для предварительной оценки теплопроводности керамзитобетонных камней можно рекомендовать упрощенную методику, разработанную в центре «Энергосбережение в строительстве» при Самарском государственном архитектурно-строительном университете.

Сущность ее заключается в том, что теплопроводность кладки из керамзитобетонных камней определяется по температурным полям, полученным с помощью специализированного программного комплекса THERM 5.2. При обработке результатов расчета используется методика, изложенная в СНиП 23-02–2003 [2]. В качестве исходных данных используются значения коэффициентов теплопроводности строительных материалов, полученные экспериментальным путем с помощью измерителя теплопроводности ИТП МГ-4 «250» в соответствии с требованиями ГОСТ 7076–99 [3].

Увлажнение материала производится в соответствии с методикой, изложенной в [4].

Паропроницаемость строительных материалов оценивается по методике, приведенной в [5]. Для определения эквивалентного коэффициента паропроницаемости стеновых камней предлагается использовать поля

упругостей водяного пара, полученные с помощью программного комплекса THERM 5.2, базирующегося на применении метода конечных элементов [6].

Предложенные методики определения теплопроводности и паропроницаемости в настоящее время используются в центре «Энергосбережение в строительстве» СГАСУ для предварительной оценки теплофизических характеристик кладок из стеновых материалов.

При их использовании достаточно иметь в наличии всего лишь 2–3 камня из керамзитобетона. Образцы для определения коэффициентов теплопроводности и паропроницаемости керамзитобетона вырезаются непосредственно из стеновых камней.

После окончательного выбора состава керамзитобетонного камня необходимо провести испытания фрагмента наружной стены в климатической камере для определения теплопроводности кладки.

Сравнение результатов предложенного численного эксперимента по определению теплопроводности стеновых камней с данными, полученными в климатической камере, показывает расхождение числовых значений в пределах 10%.

По изложенной выше методике определялись значения коэффициентов теплопроводности кладок из стеновых камней, изготовленных из беспесчаного керамзитобетона.

В качестве примера приведем расчет коэффициента теплопроводности кладки из керамзитобетонных камней на «теплом» растворе с применением керамзитового песка (в условиях эксплуатации А).

На рис. 1 представлена расчетная схема керамзитобетонного камня.

Значения теплофизических характеристик материалов, используемых для изготовления блока, представлены в таблице.

На рис. 2 представлено температурное поле в приведенном выше керамзитобетонном камне, определенное с помощью программного комплекса THERM 5.2.

Приведенный коэффициент теплопроводности рассматриваемого камня определяем по формуле:

$$\lambda = \frac{\delta}{R_0 - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}, \quad (1)$$

где δ – толщина керамзитобетонного камня, м; $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициенты теплоотдачи со стороны внутренней

Наименование материала	Плотность материала в сухом состоянии, кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)			
		теплопроводности, Вт/(м · °C)			паропроницаемости, мг/(м · ч · Па)
		сух	А	Б	А, Б
Беспесчаный керамзитобетон D 600	600	0,125	0,138	0,148	0,14
Беспесчаный керамзитобетон D 500	490	0,12	0,13	0,14	0,16
Цементно-песчаный раствор	1800	0,58	0,76	0,93	0,09

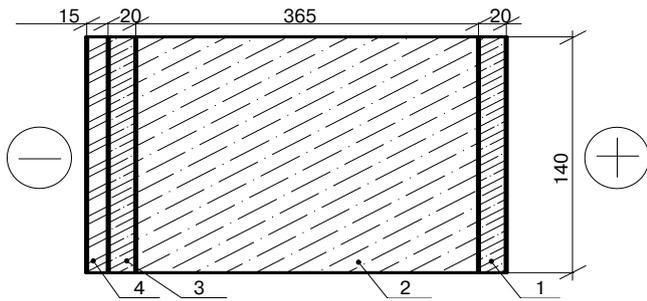


Рис. 1. Расчетная схема керамзитобетонного камня: 1, 3 – беспесчаный керамзитобетон D 600; 2 – беспесчаный керамзитобетон D 500; 4 – цементно-песчаный раствор

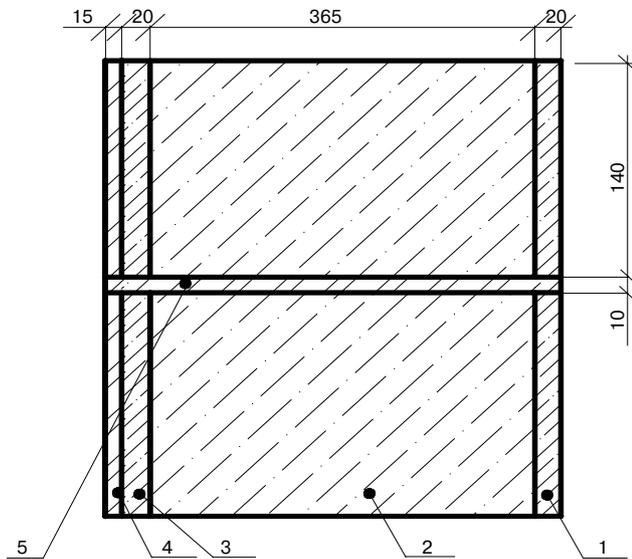


Рис. 3. Конструкции фрагмента наружной стены: 1, 3 – беспесчаный керамзитобетон D 600; 2 – беспесчаный керамзитобетон D 500; 4 – цементно-песчаный раствор; 5 – «теплый» раствор на керамзитовом песке

и наружной поверхностей соответственно, Вт/(м²·°C); $R_0 = \frac{t_{в} - t_{н}}{q}$ – сопротивление теплопередаче камня, м²·°C/Вт; q – удельный тепловой поток, Вт/м².

$$q = \alpha_{в} \cdot (t_{в} - \bar{\tau}_{в}), \text{ Вт/м}^2,$$

где $\bar{\tau}_{в}$ – средняя температура внутренней поверхности камня, °C, определяемая по температурному полю; $\alpha_{в}$ – коэффициенты теплоотдачи с внутренней стороны поверхности при 20°C.

Находимое значение коэффициента теплопроводности керамзитобетонного камня для условий эксплуатации А.

$$q = \alpha_{в} \cdot (t_{в} - \bar{\tau}_{в}) = 8,7 \cdot (20 - 18,2) = 15,66 \text{ Вт/м}^2;$$

$$R_0 = \frac{20 - (-30)}{15,66} = 3,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$\lambda = \frac{0,42}{3,19 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23}} = 0,138 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Далее определяем значение коэффициента теплопроводности кладки из керамзитобетонных камней, руководствуясь требованиями к фрагменту, изложенными в ГОСТ 530–2007 [1].

Конструкция фрагмента наружной стены приведена на рис. 3.

Температурное поле в кладке из керамзитобетонных камней определялось по изложенной выше методике.

Результаты расчета представлены на рис. 4.

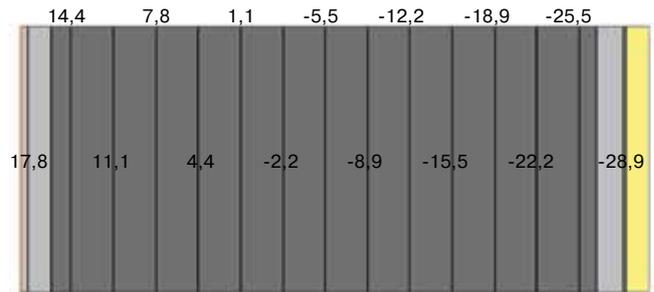


Рис. 2. Температурное поле в керамзитобетонном камне в условиях эксплуатации А

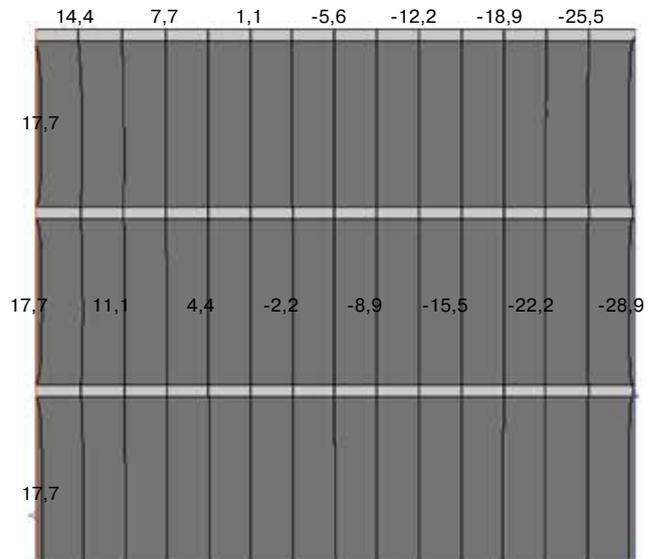


Рис. 4. Температурное поле в кладке из керамзитобетонных камней в условиях эксплуатации А

Коэффициент теплопроводности кладки из керамзитобетонных камней в условиях эксплуатации А определяем по формуле:

$$\lambda = \frac{\delta}{R_0 - \frac{1}{\alpha_{в}} - \frac{1}{\alpha_{н}}} = \frac{0,42}{2,88 - 0,0435 - 0,1149} = 0,154 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Приведенная методика используется для исследования теплофизических характеристик стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона.

Ключевые слова: стеновые камни, теплопроводность, температурное поле, сопротивление теплопередаче.

Список литературы

1. ГОСТ 530–2007. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2007. 34 с.
2. СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, 2004. 40 с.
3. ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном режиме. М.: Минстрой России, 1999. 29 с.
4. СП 23-101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М.: Госстрой России, 2004. 140 с.
5. ГОСТ 25898–83. Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропропусканию. М.: Госстрой СССР, 1984. 24 с.
6. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С. Современные ограждающие конструкции из керамзитобетона для энергоэффективных зданий // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 34–36.

удк

С.А. ПАШКЕВИЧ (pashkevich86@mail.ru), С.А. ГОЛУНОВ, инженеры,
А.П. ПУСТОВГАР, канд. техн. наук, А.О. АДАМЦЕВИЧ, инженер,
Московский государственный строительный университет

Применение противоморозных добавок в базовых штукатурных составах систем фасадной скрепленной теплоизоляции

Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями (далее СФТК) включают специальные материалы и изделия, используемые в качестве отдельных элементов и/или конструктивных слоев, которые работают совместно и определяют свойства системы в целом.

Устройство СФТК осуществляется путем приклеивания к строительному основанию (бетон, кирпичная кладка, штукатурка) при помощи специального клеевого состава (клея) теплоизоляционного материала или изделия (пенополистирольные или минераловатные плиты различной толщины и плотности). Следующим этапом является нанесение на поверхность теплоизоляционной плиты базового штукатурного состава (базовый слой), который воспринимает и перераспределяет внешние нагрузки, действующие на СФТК, и обеспечивает ее физико-механические свойства в целом. Дополнительно базовый штукатурный состав армируется специальными фасадными коррозионно-стойкими стеклосетками для обеспечения жесткости и повышения ударопрочности конструкции. Заключительным этапом является устройство декоративно-защитного слоя, обеспечивающего защиту конструкции от неблагоприятных воздействий окружающей среды, а также определяющего внешнюю форму системы (текстуру покрытия).

При монтаже каждого слоя системы используются так называемые мокрые процессы, т. е. процессы, связанные с затворением сухих строительных смесей водой перед их применением. Это определяет регламент производства данных видов работ при минимальной суточной температуре не ниже $+5^{\circ}\text{C}$ и объясняется тем, что при температуре ниже $+5^{\circ}\text{C}$ процесс твердения строительного раствора резко замедляется, а при понижении температуры до 0°C и ниже и вовсе прекращается из-за перехода воды в растворной смеси из жидкого состояния в твердое с образованием кристаллов льда.

Таким образом, наблюдается явление сезонности данных видов строительных работ, что негативно сказывается на экономике строительства в целом. Для центральной части России, где, по данным Гидрометцентра России, преобладание отрицательной температуры (до -10°C) характерно для 5 месяцев в году (рис. 1), решение вопроса о возможности производства строительных работ мокрых процессов при монтаже СФТК является чрезвычайно актуальной задачей.

В настоящее время сухие строительные смеси, предназначенные для клеевого, базового штукатурного и декоративно-защитного слоев СФТК, представлены смесями, содержащими цемент (вяжущее), мелкофракционный песок (заполнитель) и полимерные добавки (редиспергируемые полимерные порошки и водорастворимые полимеры), определяющие основные физико-механические характеристики строительного раствора.

Особенностью таких смесей является наличие в их составе редиспергируемых в воде полимерных порошков (РПП), образующих устойчивые дисперсии.

Известно, что при снижении температуры воды в системе полимерные наполнители перестают выполнять свое функциональное предназначение из-за нарушения устойчивости и разрушения системы, в результате чего образования сплошной пленки не происходит.

Кроме РПП в состав цементно-полимерной смеси входят и водорастворимые полимеры (эферы целлюлозы), которые также проявляют специфическую особенность при воздействии отрицательной температуры.

Создание благоприятных условий для твердения до достижения растворной смесью критической прочности возможно при обеспечении положительной температуры наружного воздуха, например при устройстве тепловых контуров на участках монтажа СФТК, что далеко не всегда целесообразно с экономической и технологической стороны, или путем снижения температуры образования льда в жидкой фазе.

Искусственное понижение температуры замерзания жидкой фазы возможно при использовании модификаторов противоморозного действия (противоморозных добавок), наиболее распространенными из которых являются формиат натрия, нитрит натрия и формиат кальция.

Введение в состав цементно-полимерной смеси данных противоморозных добавок в различных концентрациях позволяет понизить точку замерзания воды до необходимой отметки и создать нормальные условия для твердения строительного раствора до достижения критической прочности. Однако их применение имеет и отрицательные стороны — изменяется растворимость всех входящих в состав цементно-полимерной смеси компонентов, что может негативно сказаться на физико-механических характеристиках затвердевшего раствора. Одновременно с этим при попадании влаги в затвердевший клеевой, базовый штукатурный или декоративно-защитный слой возможно с течением времени образование высолов на поверхности системы. Также следует отметить, что данные противоморозные добавки были разработаны для бетонных смесей и их применение в ССС для монтажа СФТК представляется весьма затруднительным ввиду имеющихся отличий в процессах твердения и технологии производства.

На сегодняшний день в России не существует специального нормативного документа, регламентирующего применение противоморозных добавок в составах сухих строительных смесей. ГОСТ 28013—98 «Растворы строительные. Общие технические условия» устанавливает применение добавок в строительных растворах. Существует ГОСТ 24211—2003 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия». Вопрос о применении противоморозных добавок в сухих строительных смесях изучен крайне слабо, поэтому целесообразно спроецировать существующие технологические навыки производства бетонных работ при от-

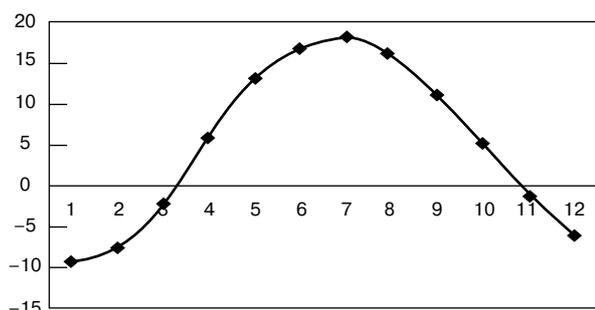


Рис. 1. Показатели среднemesячной температуры за год

рицательной температуре на возможность их применения при монтаже СФТК.

Бетонную смесь для производства работ при отрицательной температуре предписывается изготавливать в обогреваемых бетоносмесительных установках, применяя подогретую воду и подогретые заполнители, требующиеся для получения температуры бетонной смеси, необходимой по расчету. Введение противоморозных добавок осуществляется непосредственно на заводе-изготовителе в виде водных растворов или эмульсий. Подобная технология приготовления клеевых, базовых штукатурных и декоративно-защитных составов, необходимых для монтажа СФТК, неприемлема ввиду экономической нецелесообразности размещения на строительной площадке необходимого оборудования для приготовления строительной смеси. Помимо этого действие противоморозных добавок усиливается процессом саморазогрева уложенной бетонной смеси и дополнительным электропрогревом массы в опалубке. Отличительной особенностью применения противоморозных добавок в штукатурных слоях является отсутствие явления саморазогрева из-за недостаточной толщины слоя и экономической нецелесообразности устройства дополнительного обогрева штукатурных слоев.

Для определения действия противоморозных добавок в строительных растворах тонкого слоя, а также при попытке регламентирования производства подобных работ при отрицательной температуре было проведено исследование (Аубакирова И.У., Григорьев И.Н., Староверов В.Д. Особенности твердения растворов, изготовленных из сухих строительных смесей, при отрицательных температурах // Сухие строительные смеси. 2010. № 2. С. 30–32), направленное на изучение механизма действия противоморозных добавок в составе фасадной клеевой смеси.

В упомянутой работе в качестве модификаторов противоморозного действия использовались классические для укладки бетона при отрицательной температуре нитрат кальция и формиат кальция.

Состав фасадной клеевой смеси: ПЦ 400 Д20 – 35%; песок с максимальным размером зерна до 0,63 мм – 72,8%; гидрофобный редуспергируемый полимерный порошок – 2%; водорастворимый эфир целлюлозы – 0,2%.

Нитрат кальция и формиат кальция в дозировке 1% и 2% вводились в растворную смесь с водой затворения при температуре не ниже 15°C. После нанесения на основание смесь выдерживалась 2–4 ч, и затем образцы помещались в морозильную камеру с температурой -5°C. Такой порядок проведения испытаний объяснялся тем, что для реализации модифицирующего эффекта противоморозными добавками требуется некоторое время выдержки образцов при нормальной температуре.

Испытание образцов в возрасте 14 сут производилось спустя 3 сут после извлечения из морозильной камеры.

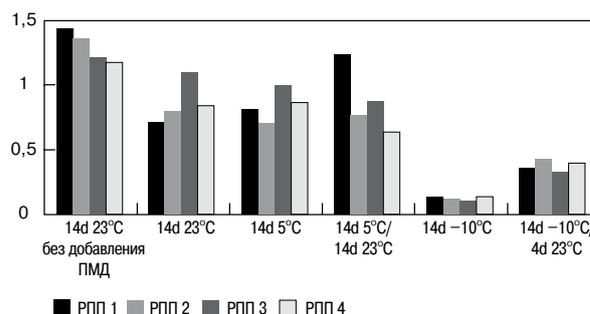


Рис. 2. Адгезионная прочность

Результаты адгезионной прочности клеевого состава с бетонным основанием в возрасте 14 сут приведены в табл. 1.

Однако в естественных условиях монтажа мокрых фасадов при отрицательных температурах подобная методика может оказаться полностью неработоспособной. Определим два ключевых момента, предъявляющих требования к регламенту производства фасадных работ при отрицательных температурах:

1. Клеевой состав может наноситься на охлажденное основание (поддержание положительной температуры строительного основания в течение определенного времени представляется крайне не целесообразным из-за дополнительных трудовых и энергетических затрат).

2. Фасадная клеевая смесь непосредственно после нанесения на охлажденное основание подвергается замораживанию.

В ходе проведенных исследований ни одно из этих условий не было выполнено.

Проведенные испытания фасадной клеевой смеси имеют исключительно теоретический характер и мало общего с использованием подобных смесей в реальных условиях.

Также изучена зависимость ключевых параметров затвердевшего при отрицательной температуре в присутствии противоморозной добавки строительного раствора, предназначенного для монтажа СФТК, от типа полимера, введенного в состав смеси. В качестве противоморозного компонента выступил формиат натрия.

По результатам проведенного исследования было установлено, что введение в состав сухой строительной смеси формиата натрия уже само по себе вызывает ухудшение сцепления раствора с основанием. Адгезионная прочность раствора, твердевшего при нормальных условиях – температура 23°C и влажность 50% – сопоставима с адгезионной прочностью контрольного состава (без добавления формиата натрия), затвердевшего при температуре 5°C.

Регламент проведения эксперимента предполагал выдерживание свежешелюженного раствора в течение 7 сут при необходимых условиях, и 7 сут при нормальных условиях (температура 23°C и влажность 50%). Результаты исследования адгезионной прочности представлены на рис. 2.

Параллельно получены объективные данные о пределе прочности при сжатии (рис. 3) и пределе прочности при изгибе (рис. 4) затвердевшего раствора.

Таблица 1

Адгезия к бетонному основанию клеевого состава, модифицированного противоморозными добавками (%), МПа			
формиат кальция		нитрат кальция	
1	2	1	2
0,3885	0,399 МПа	0,336 МПа	0,357 МПа

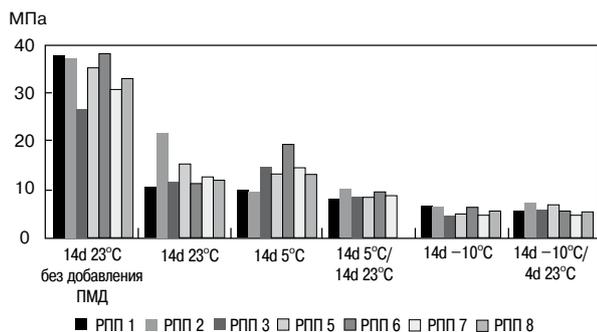


Рис. 3. Предел прочности при сжатии

Как видно из результатов проведенных исследований, применение в качестве противоморозной добавки хорошо зарекомендовавшего себя в производстве бетонных работ формиата натрия неприемлемо ввиду резкого ухудшения свойств затвердевшего строительного раствора. Следует отметить, что раствор подвергался замораживанию сразу же после нанесения на основание. Однако для получения более достоверных результатов необходимо наносить раствор на основание, охлажденное до проектной температуры.

С целью максимального приближения эксперимента к реальным условиям эксплуатации и получения достоверных результатов в НОЦ НСТМ МГСУ проводилось исследование, направленное на определение влияния некоторых добавок полимерной природы в качестве модификаторов противоморозного действия в строительных растворах тонкого слоя. При исследованиях им были присвоены условные обозначения: К1, К2, К3 и К4.

Состав фасадной клеевой смеси: ПЦ М400 – 30%; песок раменский с максимальным размером зерна до 0,315 мм – 63,915%; известь гашеная – 3%; водорастворимый эфир целлюлозы – 0,25; релаксационный полимерный порошок – 2,5%; волокно целлюлозы – 0,2%.

Добавки К1, К2, К3 и К4 в дозировке 0,135% вводились в сухую строительную смесь. Время выдержки готовой строительной смеси составило не более 5 мин для обеспечения начального процесса кристаллообразования. Затем образцы строительной смеси наносились на предварительно охлажденное до температуры -5°C бетонное основание и помещались в морозильную камеру с температурой -5°C . Возраст образцов на момент испытания составил 14 сут (7 сут замораживания и 7 сут оттаивания).

Такой порядок проведения испытания определялся следующими факторами.

1. Нанесение клеевого состава должно производиться на охлажденное основание.
2. Фасадная клеевая смесь сразу после нанесения на охлажденное основание замораживалась.

Таблица 2

	Содержание полимерных добавок, %				
	K1	K2	K3	K4	Контрольный состав*
	0,135	0,135	0,135	0,135	0
Адгезионная прочность, МПа	0,665	0,38	0,35	0,375	0,602

* Контрольный состав – базовый состав клеевой смеси без добавления модификаторов противоморозного действия; набор прочности производился в нормальных условиях (температура окружающей среды $+21^{\circ}\text{C}$, влажность 50%). Значение адгезионной прочности указано для образца в возрасте 14 сут.

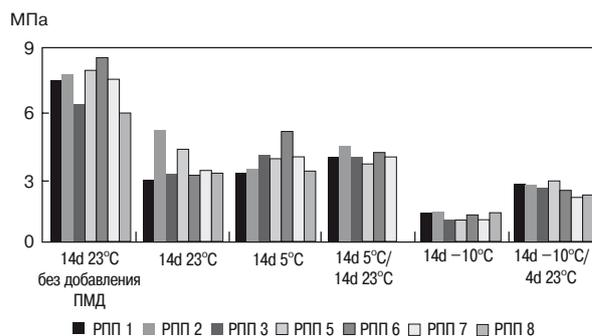


Рис. 4. Предел прочности при изгибе

3. Основной набор прочности происходил при оттаивании.

Результаты адгезионной прочности клеевого состава с бетонным основанием в возрасте 14 сут приведены в табл. 2.

Установлено, что мокрые процессы при монтаже СФТК, в частности нанесение клеевого состава на бетонное основание, при отрицательной температуре возможно при помощи принципиально новых модификаторов полимерной природы, которые в сравнении с традиционными противоморозными добавками (нитрат кальция и формиат кальция) позволяют достичь гораздо более высоких результатов адгезионной прочности клеевого состава к бетонному основанию при максимальном приближении условий испытаний к реальным условиям на производстве.

Отсутствие в России специального нормативного документа, регламентирующего применение противоморозных добавок в составах сухих строительных смесей, и практического опыта применения существующих противоморозных добавок, а также полученные результаты исследований предоставляют широкие перспективы для развития в данном направлении.

В настоящее время проводится ряд дополнительных исследований, направленных на модификацию строительных смесей специальной противоморозной добавкой, адаптированной к применению в клеевых, базовых штукатурных и декоративно-защитных составах, позволяющей производить работы по монтажу СФТК при температурах окружающей среды до -10°C без дополнительных энергетических и технологических затрат, а также разработка соответствующего регламента производства работ по монтажу СФТК при температуре окружающей среды до -10°C являются актуальной задачей. Это позволит максимально эффективно проводить мокрые процессы при монтаже СФТК в Центральной части России на протяжении всего года, что, безусловно, благоприятно скажется на экономике строительного производства в целом.

Ключевые слова: системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями, противоморозные добавки, сухие строительные смеси.

Список литературы

1. Голунов С.А., Пустовгар А.П., Пашкевич С.А., Дудяков Е.В.. Оценка эффективности современных композиционных фасадных систем с тонкими штукатурными слоями и утеплителем из минеральной ваты // Строительные материалы. № 11. 2010. С. 21–27.
2. С.П. Сивков. Особенности процессов гидратации цементов в сухих строительных смесях // Строительные материалы. № 2. 2008. С. 4–7.
3. В.С. Семенов. Противоморозные добавки для облегченных цементных систем // Строительные материалы. № 5. 2011. С. 16–19.

А.А. ОРЛОВ, инженер (kosheen_s@mail.ru), Т.Н. ЧЕРНЫХ, канд. техн. наук,
Л.Я. КРАМАР, Б.Я. ТРОФИМОВ, доктора техн. наук,
Южно-Уральский государственный университет (Челябинск)

Энергосбережение при получении магнезиального вяжущего строительного назначения

В последнее время в строительной индустрии активно повышается интерес к магнезиальным материалам, которые характеризуются высокими эксплуатационными характеристиками, специальными свойствами и приемлемой себестоимостью. Но качественные магнезиальные материалы можно получить только при использовании специального вяжущего строительного назначения, со свойствами, отвечающими требованиям технических условий [1, 2]. Известно, что для производства магнезиального вяжущего используют природные высокомагнезиальные породы, из которых наиболее перспективными являются непригодные для производства огнеупоров серпентинизированные бруситы и магнезиты 3-го и 4-го сортов [3]. Эти породы накапливаются в отвалах, загрязняя окружающую среду, или неэффективно используются в качестве заполнителей для производства низкомарочных бетонов. Одной из основных проблем, сдерживающих распространение и применение магнезиального вяжущего в строительстве, является высокая энергоёмкость его получения. Исследованиями показано, что из бруситовых пород 3-го и 4-го сортов можно получать высококачественное магнезиальное вяжущее строительного назначения, но при этом требуется высокая температура обжига, достигающая 1100–1200°C [4]. Данный эффект связан с тем, что входящие в породу примеси серпентинов дегидратируют при температуре около 900°C с выделением OH^- , которые, осаждаясь на поверхности высокоактивных частиц оксида магния, препятствуют росту кристаллов периклаза до требуемого размера.

В технологии вяжущих существует несколько способов снижения температуры обжига природного сырья, из которых можно выделить два основных. Первый способ требует использования специального оборудования или внедрения в процесс дополнительных технологических операций. Второй, и наиболее эффективный, — включает изменение состава шихты введением в нее активных компонентов, влияющих на процессы разложения обжигаемого сырья и скорость кристаллизации получаемых продуктов. К таким компонентам относят добавки-минерализаторы, действие которых заключается в активизации процессов разложения исходных пород и формировании вяжущих веществ необходимой структуры и требуемых свойств.

С 50-х гг. XX в. в нашей стране и за рубежом активно ведутся исследования в области применения минерализаторов; перспективность таких исследований не теряет актуальности и сегодня. Однако работы проводились в основном при получении извести, портландцемента и огнеупоров.

Исследованию влияния добавок-минерализаторов на процессы, происходящие в сырьевой смеси, и обобщению представлений о механизме действия этих доба-

вок на превращения в шихте при высокотемпературном синтезе вяжущих посвящены работы Б.В. Волконского, П.Ф. Коновалова, С.Д. Макашова, Б.И. Нудельмана и др. Эти исследователи считают, что добавками-минерализаторами являются такие вещества, которые при обжиге активно участвуют в разложении шихты и далее сами частично входят в состав образующихся минералов [5]. Согласно исследованиям Б.И. Нудельмана с соавторами факторы, от которых зависит скорость разложения карбоната кальция, по значимости можно расположить в следующем порядке: минерализатор — температура — время [6]. При изучении действия минерализаторов на процессы получения цементного клинкера и извести большинство исследователей отмечают, что при термическом воздействии интенсивность процессов изменения кристаллической решетки в большей степени определяется соотношением радиусов и величин зарядов ионов минералов обжигаемой смеси и минерализаторов. Например, в производстве извести действие минерализаторов с одинаковой структурой и энергией кристаллической решетки, но с различными размерами радиусов катионов (Na^+ и K^+) более эффективно при использовании в качестве добавки — ускорителя процесса диссоциации CaCO_3 — хлорида натрия. По эффективности эта добавка превосходит действие KCl почти в 2 раза, так как радиус катиона Na^+ близок к радиусу Ca^{2+} [7].

Другая эффективная возможность снижения температуры обжига с помощью добавок заключается в способности некоторых из них образовывать жидкую фазу при пониженной температуре. Такие добавки называются пептизаторами, они образуют в шихте жидкую фазу при обжиге раньше, чем в бездобавочной шихте, и способствуют активному расщеплению агрегатов на первичные частицы. Такими добавками являются: сода, жидкое стекло, фосфорно-кислый натрий и т. д. Они способствуют деструктурированию расплава, оказывают существенное влияние на процесс минералообразования на всех этапах, диспергируя реагирующие компоненты, улучшая тепло- и массообмен, являясь растворителем и кристаллизационной средой [8, 9].

По некоторым данным [10, 11], введение минерализаторов совместно с пептизаторами или использование добавок, совмещающих в себе обе функции, способствует усилению минерализующего действия и позволяет при равнозначном эффекте действия снизить количество вводимых добавок.

Таким образом, при оценке эффективности действия добавок, вводимых в сырье при обжиге, нужно обращать внимание в первую очередь на кристаллохимические свойства добавок, в частности на радиус катиона, а во вторую — на температуру появления расплава. Кроме того, добавки должны быть доступны и безопасны.

Таблица 1

Mg(OH) ₂ , %	MgCO ₃ , %	CaMg(CO ₃) ₂ , %	CaCO ₃ , %	3MgO ₂ SiO ₂ 2H ₂ O, %	Прочие, %
57–81	0–6	0–7	0–8	4–13	9–14

Таблица 2

Вид добавки	Энтальпия реакции, кДж/моль (в пересчете на получение 1 молекулы MgO)
Без добавок	9134
MgCl ₂ ·6H ₂ O	8767
NaCl	9250
Жидкое стекло Na ₂ O(SiO ₂) _n	9134

Таблица 3

Вид добавки	Температура плавления добавки, °С
MgCl ₂ ·6H ₂ O	714
NaCl	801
Жидкое стекло (Na ₂ O(SiO ₂) _n)	600

Можно предположить, что с этой точки зрения для использования в магнезиальных системах наиболее подходящими являются добавки, совмещающие в себе функции минерализатора и пептизатора, — это хлорид магния и хлорид натрия, а также добавка-пептизатор жидкое стекло.

Целью настоящего исследования являлся поиск эффективных добавок для снижения энергоемкости обжига бруситовой породы при получении магнезиального вяжущего строительного назначения.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- выявляли особенности воздействия применяемых добавок на процесс обжига серпентинизированного брусита;
- оценивали воздействие добавок на скорость роста кристаллов периклаза;
- определяли эффективность действия добавок-минерализаторов по техническим характеристикам вяжущего.

Исследования проводили на кульдурском брусите 3-го сорта, минералогический состав которого отличается неоднородностью и присутствием большого количества серпентинитов и других продуктов выветривания, а также примесей кальцита и доломита (табл. 1).

В качестве добавки пептизатора выбрали натриевое жидкое стекло (Na₂O(SiO₂)_n) с плотностью 1,42 г/см³. В качестве добавок, совмещающих пептизирующее и минерализующее действие использовали шестиводный хлорид магния технический (бишофит MgCl₂·6H₂O) и хлорид натрия (NaCl).

Для проведения исследований применяли стандартные методы испытания в соответствии с ГОСТ 1216–87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические условия» и ТУ 5745-004-70828456–2005 «Магнезиальное вяжущее», а также рентгеноструктурный метод исследования.

Для определения теоретической возможности ускорения химических процессов, протекающих при обжиге бруситового сырья в присутствии выбранных добавок, рассчитали энтальпии реакций разложения гидроксида магния с добавками и без них; результаты расчетов представлены в табл. 2.

В то же время возможность снижения температуры обжига бруситовой породы в большей степени опреде-

ляется температурой образования расплава добавок-пептизаторов, которые приведены в табл. 3.

Анализируя приведенные данные, можно предположить, что низкая энтальпия реакции дегидратации брусита с добавкой бишофита будет соответствовать снижению расхода энергии на обжиг данной шихты. Но при этом затраты тепла на разложение серпентинизированных примесей не изменятся, так как в процессе обжига не происходит реакций взаимодействия между серпентинами и минерализаторами. Это позволяет выдвинуть предположение, что добавка бишофита несколько снизит энергозатраты на обжиг бруситовых пород, а также понизит температуру обжига благодаря пептизирующему действию (табл. 3).

Наличие в шихте хлорида натрия не только не уменьшает, но и несколько увеличивает затраты энергии на химическую реакцию получения того же количества оксида магния, следовательно, ускорение дегидратации возможно только в случае физического воздействия на обжигаемую породу, т. е. благодаря раннему образованию расплава (табл. 3). В случае с жидким стеклом химического взаимодействия компонентов вообще не происходит, а следовательно, возможно только пептизирующее действие данной добавки.

Анализ данных о влиянии добавок на энергию процесса разложения брусита и серпентинов, а также температуры плавления этих добавок позволяет предположить, что введение жидкого стекла, хлоридов натрия и магния может в разной степени снизить температуру обжига бруситовой породы. С целью подтверждения данного предположения проводили обжиг шихт разного состава и исследование свойств полученных вяжущих.

Шихту для обжига готовили следующим образом: бруситовую породу измельчали до остатка на сите № 02 не более 15%; смешивали с добавками в количестве: бишофит – 4%, хлорид натрия – 4%, жидкое стекло – 10% и формировали гранулы. Обжиг полученных гранул проводили в лабораторной камерной печи ПКЛ-1,2 в течение 2 ч, при температуре от 700 до 900°С.

После обжига гранулы измельчали до остатка на сите 008 не более 15% и затворяли водным раствором хлорида магния плотностью 1,2 г/см³ до получения теста стандартной консистенции по ГОСТ 1216–87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические условия». Равномерность изменения объема вяжущего определяли на образцах-лепешках согласно ГОСТ 310.3–76, которые выдерживали после 7 сут твердения на воздухе 1 сут в воде без кипячения. Для определения активности вяжущего изготавливали из теста нормальной густоты образцы-кубики с ребром 2 см и испытывали их в возрасте 1 и 28 сут; образцы твердели на воздухе при температуре 20±2°С и влажности 60±5%.

Основным показателем качества магнезиального вяжущего по ТУ 5745-004-70828456–2005 «Магнезиальное вяжущее» [2] является степень закристаллизованности периклаза, которую можно контролировать по размерам кристаллов и неравномерности изменения объема. В ходе проведения эксперимента выявлено, что добавки-минерализаторы ускоряют процесс роста кристаллов периклаза даже в присутствии серпентиновых примесей. Размеры кристаллов MgO, полученных при введении добавок, значительно больше, чем при обжиге бездобавочной шихты, при этом действие добавки шестиводного хлорида магния более эффективно.

Таблица 4

Температура обжига, °С	Вид добавки в шихту			
	Без добавок	Хлорид натрия	Шестиводный хлорид магния	Жидкое стекло
600	Сплошная сеть трещин (недожог)			
700	Сплошная сеть трещин (недожог)	Сплошная сеть трещин (недожог)	Отдельные трещины по краям (недожог)	Отдельные трещины по краям (недожог)
800	Сплошная сеть трещин (недожог)	Отдельные трещины по краям (недожог)	Без трещин	Без трещин
900	Сплошная сеть трещин (недожог)	Без трещин	Без трещин	Без трещин
1000	Отдельные трещины по краям (недожог)	Без трещин	Отдельные сквозные трещины (пережог)	Отдельные сквозные трещины (пережог)
1100	Без трещин	Отдельные сквозные трещины (пережог)	Отдельные сквозные трещины (пережог)	Отдельные сквозные трещины (пережог)

Оптимальный размер кристаллов MgO – 38–45 нм [4] достигается при обжиге шихты с MgCl₂·6H₂O уже при 750°С, с добавкой жидкого стекла – при 800°С, с добавкой NaCl – при 850–900°С, без добавок – при 1100°С и выше.

Согласно данным ДТА эффективное действие добавки MgCl₂·6H₂O можно объяснить несколькими факторами. При нагревании шихты вследствие топохимических процессов уже при 400°С начинается разложение брусита с образованием слабоакристаллизованного оксида магния. В дальнейшем активные ионы магния способствуют разложению карбоната магния и серпентинов, внедряясь в кристаллическую решетку магнезиальных минералов и как бы расклинивая ее изнутри. Плавление добавки также способствует ускорению процессов разложения минералов и удаления выделяющейся воды. При достижении 750°С процессы разложения брусита и серпентинов завершаются, и выдержка в течение некоторого времени при этой температуре способствует полному удалению мигрирующих ОН⁻ групп и кристаллизации периклаза до оптимальных размеров [3]. Введение в шихту добавки-минерализатора NaCl также интенсифицирует обжиг бруситовой породы, но в меньшей степени из-за того, что радиус катиона натрия значительно больше радиуса иона магния и

это затрудняет его внедрение в кристаллическую решетку обжигаемых минералов.

Принцип действия пептизатора – жидкого стекла заключается в том, что обжиг уже при низкой температуре ведется в присутствии жидкой фазы. Она способствует ускорению разложения магнезиальных минералов за счет быстрого расщепления агрегатов на мелкие частицы и их частичного растворения, что вызывает смещение начала разложения минералов исходного сырья в область низкой температуры, в том числе и серпентинизированных примесей. Таким образом, при введении в шихту добавок можно снизить температуру обжига на 200–300°С, получить вяжущее с высокой прочностью и равномерным изменением объема при твердении, т. е. магнезиальное вяжущее строительного назначения (табл. 4).

Из представленных данных следует, что при повышении температуры выше оптимальной размер кристаллов периклаза увеличивается и это приводит к излишнему снижению его активности и образованию пережога. В результате пережог, обладающий низкой гидравлической активностью, вступает в реакцию гидратации с водой с увеличением объема в 2,17 раза в уже затвердевшем магнезиальном камне, что вызывает значительные внутренние напряжения в сформированном камне, а порой и его разрушение [4].

Таблица 5

Свойства	Температура обжига, °С	Вид добавки в шихту			
		Без добавок	Хлорид натрия	Шестиводный хлорид магния	Жидкое стекло
Дозировка добавки, %		–	4	4	10
Предел прочности при сжатии в возрасте 1 сут, МПа	600	22,4	20	18,7	19,2
	700	23,6	18,9	10,1	23,8
	800	21	14,2	5,2	30,5
	900	15,6	5	4,8	51
	1000	4,8	3,6	2,1	7,2
	1100	4,3	2,4	1,2	6,5
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	600	–	24,1	25,1	60
	700	22,8	28,1	60,3	67
	800	23,3	55,2	60,5	88
	900	28,1	61	58,3	71
	1000	60,1	62,2	57,1	65
	1100	59,4	61,1	58,2	53

Данные по прочности магнезиального вяжущего (табл. 5) полностью согласуются с представленными выше результатами по равномерности изменения объема.

Из полученных характеристик прочности видно, что при низкой температуре обжига, когда в составе присутствует большое количество активного оксида магния (недожога), прочность магнезиального камня в раннем возрасте имеет высокие значения, однако к марочному возрасту существенно не увеличивается или даже снижается. Это происходит из-за неравномерности изменения объема и образования трещин в камне по прослойкам гидроксида магния, образовавшегося вследствие особенностей структурообразования в высокоактивном вяжущем, что было выявлено ранее [4]. При оптимальной температуре обжига формируется вяжущее, которое при твердении создает однородную структуру камня, упрочняющегося во времени. Такое вяжущее формирует камень с наиболее высокими значениями прочности в возрасте 28 сут.

Выводы

1. Для снижения температуры обжига бруситовой породы и соответственно энергозатрат при получении вяжущего строительного назначения наиболее эффективно использование добавок-минерализаторов, радиус катионов которых равен или близок к радиусу Mg^{2+} , и при этом температура плавления добавки должна быть как можно ниже.

2. Наиболее эффективной добавкой является шестиводный хлорид магния, который активизирует удаление воды как из гидроксида магния, так и из гидросиликатов магния и ускоряет процесс формирования кристаллов периклаза одновременно за счет минерализующего и пептизирующего действия.

3. Хлорид натрия в меньшей степени влияет на температуру обжига бруситовой породы, так как ионы натрия, имея больший радиус в сравнении с ионами магния, не способны эффективно дестабилизировать кристаллическую решетку минералов бруситовой породы в твердой фазе. Образование расплава этой соли происходит при более высокой температуре и в меньшей степени активизирует процессы обжига бруситовой породы. В результате в присутствии добавки NaCl обжиг протекает при температуре на 100–200°C выше, чем при использовании в качестве добавки $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

4. Жидкое стекло по эффективности не уступает добавке $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, но воздействует на обжигаемый материал только как пептизатор. В связи с этим оно эффективно при высоких дозировках, что может привести к образованию высолов на твердеющем камне.

5. Более эффективной добавкой является шестиводный хлорид магния; при его использовании можно снизить температуру обжига до 800–900°C (против 1100°C для бездобавочной шихты).

6. Таким образом, использование добавок-минерализаторов при обжиге бруситовой породы позволит существенно снизить затраты на топливо и приведет к улучшению экологической ситуации в районе производства магнезиального вяжущего.

Ключевые слова: магнезиальное вяжущее, жидкое стекло, оксид магния, бишофит.

Список литературы

1. Крамар Л.Я. К вопросу о требованиях стандарта к магнезиальному вяжущему строительного назначения // Строительные материалы. 2006. № 1. С. 52–54.
2. ТУ 5745-004-70828456–2005. Магнезиальное вяжущее. Технические условия. Челябинск, 2006. 6 с.

3. Крамар Л.Я., Черных Т.Н., Трофимов Б.Я. Магнезиальные вяжущие строительного назначения / Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси. СПб: НПО «Профессионал», 2009. С. 507–604.
4. Черных Т.Н., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Свойства магнезиального вяжущего из бруситовой породы и их взаимосвязь с размерами кристаллов периклаза // Строительные материалы. 2006. № 1. С. 47–52.
5. Августинник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 573 с.
6. Волконский Б.В., Коновалов П.Ф., Макашов С.Д. Минерализаторы в цементной промышленности. М.: Стройиздат, 1964. 199 с.
7. Журавлев В.С., Гордон М.М. Получение низкотермичных цементов // Тр. НИИЦемент. 1948. Вып. 9. С. 174–196.
8. Журавлев В.Ф., Больфсон С.Л., Сычев М.М., Житомирский В.И. О механизме действия минерализаторов при образовании силикатов кальция // Цемент. 1950. № 3. С. 3–8.
9. Куколев Г.В., Лулева Н.А. Изучение кинетики спекания глинистых образцов с минерализатором и поверхностно-активной добавкой // Стекло и керамика. 1975. № 12. С. 20–23.
10. Никифорова Э.М. Минерализаторы в керамической промышленности: Монография. Красноярск: ГУЦМиЗ, 2004. 108 с.
11. Нудельман Б.И., Гасанова А.А., Мамараимов А. Хлорирующий обжиг в производстве строительных материалов. Ташкент: Мехнат, 1989. 476 с.
12. Окорочков С.Д., Гольинко-Вольфсон С.Л., Шевелева Б.И. Минерализующее действие хлоридов и сульфатов при обжиге порландцементного клинкера // Тр. VI Всесоюзного совещания заводских лабораторий цементной промышленности. 1959.

Центр Бетонных Технологий
при участии
Дрезденского Технического Университета,
Московского строительного университета
при поддержке
Ассоциации «Железобетон»
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева
ООО «Эм-Си Баухеми»

Конференция
Бетоны, армированные фиброй и текстилем

4–5 октября 2011 г. Москва

Тематика:

- Виды фиброармирования, принципы действия фибры, области и цели применения фибробетона
- Основы разработки фибробетонов: механика разрушения, морфология структуры материала, реология бетонной смеси
- Особенности состава и изготовления фибробетона
- Влияние дисперсной арматуры на свойства свежего и затвердевшего бетона
- Методы измерения, описание и классификация механических характеристик
- Учет несущей способности бетона, армированного стальной фиброй
- Новые виды фибробетона: сверхпрочный бетон, сверхвязкий бетон и бетон, армированный текстилем

Место проведения:
Москва, Ярославское шоссе, д. 26, МГСУ, Зал Ученого совета

Организационный комитет:
Телефон: +7 (812) 331-81-84
Козлова Наталья – тел. +7 962 706 87 03
e-mail: natalia.kozlova@beton-center.ru www.beton-center.ru

М.Н. МОРОЗ, канд. техн. наук, В.И. КАЛАШНИКОВ, д-р техн. наук, В.М. ВОЛОДИН, инженер, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Гидрофобизатор для строительных материалов ПРИМ-1

Прогрессирующее возрастание объемов потребления газообразного топлива вместо жидкого (нефти и мазута) и твердого (угля) позволило существенно улучшить экологическую обстановку, исключить ряд сложных операций подготовки топлива к сжиганию, упростить подачу его к местам потребления, повысить культуру производственного процесса. С переходом хозяйств на газообразное топливо исчезли громоздкие углеазомольные цеха, металлические и бетонные складские емкости для мазута.

Однако далеко не все предприятия избавились от складов хранения жидкого топлива. Ликвидация стальных и бетонных танков — трудоемкая операция, связанная с необходимостью расчленения стальных емкостей. Такая операция осуществляется только с помощью газовой резки и чревата негативными последствиями: остатки мазута в емкостях и проливы их на территорию складов легко воспламеняются при газосварочных работах и приводят к возникновению пожара. В связи с этим необходима тщательная очистка емкостей от остатков мазута, консервирование замасуленной территории с полным исключением возможности возникновения пожара при газосварочных работах. Поэтому на многих предприятиях, перешедших 5–10 лет назад с жидкого топлива на газообразное, складские участки для хранения мазута сохранились до настоящего времени. Такие участки, расположенные на загрязненных территориях с пролитыми лужами мазута, создали неблагоприятную экологическую обстановку на предприятиях. Коррозия металлических емкостей со временем приводит к протеканию мазута из них, создает пожароопасную обстановку.

К сожалению, на практике отсутствуют надежные методы консервации загрязненных территорий, исключающих миграцию мазута в почву. Отсутствуют технические решения перевода надпочвенных разливов мазута в твердообразное состояние с возможным использованием продуктов в каких-либо производствах. А остатки в емкостях загустевшего мазута требуют трудоемкого разогрева паром. Такие остатки, как правило, сжигают.

Более высококипящая часть нефти (мазут), остающаяся после извлечения низкокипящих продуктов и переведенная в твердый порошкообразный вид, не исследовалась в качестве сырья для производства строительных материалов.

Перевод мазута в твердое состояние возможен путем смешивания его со специфическими порошкообразными или зернистыми материалами, имеющими высокую внешнюю или внутреннюю поверхностную энергию. При этом образование твердого продукта происходит за счет:

- поверхностной и капиллярной сорбции мазута на дисперсных и капиллярно-пористых материалах;
- реакционно-химического процесса между мазутом и содержащейся в нем воды и порошком.

В первом случае получается механическая смесь мазута и минерального материала без изменения фазового состава. Во втором случае активные ингредиенты мазута

за счет реакции с минеральным веществом переходят в новое вещественное состояние, характеризующееся молекулярной или микрометрической дисперсностью. Твердообразные остаточные реакционно-неактивные ингредиенты мазута должны или адсорбироваться на избытке дисперсного минерального вещества, или распределяться в нем.

При первом варианте консервирования мазута в сыпучих смесях могут быть использованы:

- древесные опилки, семечковая лузга, мелкодробленая соломка;
- порошкообразная и мелкодробленая глина, суглинок;
- тонкозернистые отходы дробления каменных пород осадочного происхождения (известняка, известняка-ракушечника, трепела, диатомита, опоки);
- тонкодисперсные золы ТЭЦ сухого удаления;
- тонкодисперсные отходы газоочистки металлургических и литейных производств;
- тонкодисперсные отходы флотации и магнитной сепарации руд.

Полученные смеси, предназначенные в качестве выгорающих добавок в кирпичном или керамическом производстве, обладающие высокой мазутоемкостью, приобретают или увеличивают теплотворную способность смеси по сравнению с исходным порошком.

При соотношении мазут:опилки=1:1 теплотворная способность смеси возрастает до 26720 кДж/кг, то есть становится близкой к теплотворной способности условного топлива. Теплотворная способность смесей мазута и неорганических минеральных порошков определяется лишь содержанием мазута. Поэтому наиболее рационально органомазутную смесь использовать в производстве глиняного и диатомового кирпича, диатомовых и трепельных скорлуп и сегментов, керамзита в качестве запрессованного топлива.

Наиболее эффективным топливом становятся прессованные брикеты из опилочно-мазутных смесей при соотношении мазут:опилки=1:1,5. Брикеты из такой смеси хорошо прессуются, не обладают мажущим свойством и имеют в 1,5 раза большую теплотворную способность, чем дрова.

Смеси мазута с глиной, трепелом, диатомитом, золой, отходами магнитной сепарации, пылями газоочистки являются хорошими выгорающими и модифицирующими добавками при производстве кирпича, керамзита и портландцемента.

Мазутно-меловые и мазутно-известняковые смеси могут быть наиболее эффективно использованы в производстве извести в шахтных и вращающихся печах.

При втором способе консервирования мазута с реакционно-активными веществами могут быть использованы, как показали исследования, следующие вещества:

- порошкообразная негашеная известь;
- смесь порошкообразной негашеной извести с содой.

В результате смешивания извести с мазутом протекают две реакции. Первая реакция — гашение извести

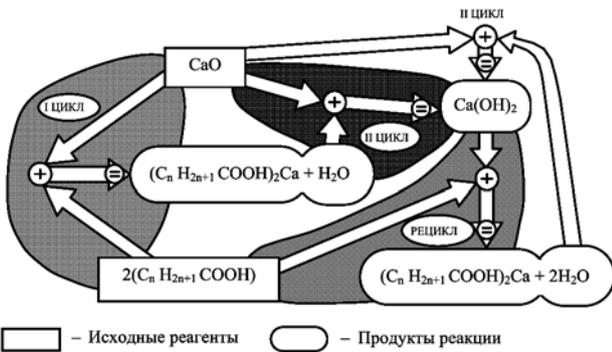


Рис. 1. Схема реакционного процесса взаимодействия нафтеновой кислоты в обезвоженном мазуте с $\text{Ca}(\text{OH})_2$

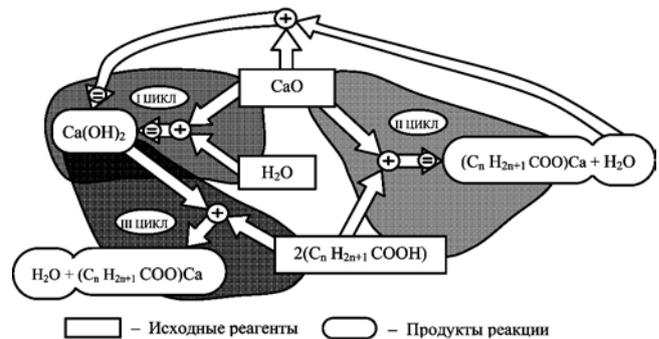
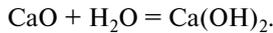


Рис. 2. Схема реакционного процесса взаимодействия нафтеновой кислоты в мазуте при ограниченном содержании воды в нем

водой, содержащейся в мазуте. Реакционный процесс сопровождается экзотермической реакцией с выделением 1160 кДж тепла на 1 кг оксида кальция:



Образующийся гидроксид кальция имеет высокую дисперсность и адсорбирует на своей поверхности наиболее легкие фракции углеводородов.

Экспериментально доказано, что реакция протекает и с полностью обезвоженным мазутом. Наибольшее количество высококипящих кислот содержится в мазутах из парафинистых нефтей. Для насыщенных кислот парафинового ряда реакционный процесс идет по схеме:



Образующаяся вода идет на параллельную реакцию гашения оксида кальция. В результате реакции образуются гидрофобные кальциевые соли жирных и нафтеновых кислот.

В результате реакции образуются гидрофобные кальциевые соли жирных и нафтеновых кислот. Смесь разогревается до 90–115°C в зависимости от соотношения мазута и извести. В связи с тем, что один из компонентов (CaO) является твердофазным, необходимо тщательно смешивать порошок и мазут для увеличения реакционной поверхности. Оптимальное массовое соотношение мазута и извести составляет 1:1,5. При таком соотношении образуется сыпучий коричневый или светло-коричневый порошок, несмачиваемый водой. Он может быть использован в качестве порошкового гидрофобизатора кладочных и штукатурных растворов, цементных и шлаковых бетонов.

Работы по консервации мазута должны проводиться в период отсутствия атмосферных осадков. Увлажнение порошкообразной извести приводит к ее гашению (гидратации) и исключает протекание реакций омыления жирных и нафтеновых кислот. Минеральные порошки во влажных условиях насыщаются водой, что исключает поверхностную и внутреннюю сорбцию мазута и образование сыпучих смесей.

При низкой температуре (до 0°C) окружающей среды консервация мазута возможна лишь при использовании негашеной извести при послойном смешивании тонких слоев мазута с известью. Способы производства работ выбираются в зависимости от постановки задач по консервированию и компаундированию мазута.

При изготовлении гидрофобного порошка из мазута и негашеной извести необходимо соблюдать строгое соотношение компонентов. При смешивании извести и мазута в мешалке принудительного действия разогрев смеси в результате реакции может повысить температуру до 100–110°C и выше. Для исключения перегрева смеси необходимо последовательное добавление порошка извести в 2–3 этапа, порциями по 1/3 от объема

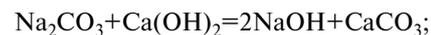
извести. Расфасовка гидрофобной добавки осуществляется в бумажные мешки.

В связи с отсутствием в практике методов консервирования мазута в утилизируемые смеси способы производства последних должны разрабатываться с использованием имеющегося оборудования в различных отраслях промышленности (бетонной, асфальтобетонной, керамической). Наряду с этим должны быть разработаны методы контроля качества готовой продукции.

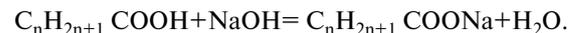
Авторами разработаны схемы реакционных процессов извести с обезвоженным и содержащим воду мазутом (рис. 1 и 2).

На рис. 1 видно, что 1-я реакция – это взаимодействие CaO с нафтеновой кислотой мазута с выделением воды. Затем реакционный процесс сдвигается в сторону взаимодействия извести с образовавшейся водой как термодинамически более предпочтительный. Образующаяся $\text{Ca}(\text{OH})_2$ может реагировать с нафтеновой кислотой, но реакция I цикла предпочтительна. Однако в связи с микронеоднородностью реакционной системы возможна и реакция рецикла. Вторая схема аналогична первой, но она начинается со связыванием воды известью. В целом реакционные процессы отличаются конкурентностью.

Если в качестве реакционно-активных ингредиентов использовать смесь негашеной извести и соды, то протекают следующие химические реакции: реакция гидратации CaO с водой и реакция каустификации соды известью:



реакция омыления жирных и нафтеновых кислот щелочью:



При избытке извести возможно протекание катионно-обменных реакций:



Вторичная щелочь может омылять другие органические составляющие мазута.

В связи с этим авторами была разработана порошкообразная гидрофобная добавка – продукт реакции взаимодействия извести с мазутом, названная ПРИМ-1.

Для исследования влияния ПРИМ-1 на водостойкость минерально-шлакового вяжущего (МШВ) методом прессования при давлении 25 МПа была отформована серия образцов-цилиндров $\varnothing 2,5$ см из нижнетагильского

Составы	1 сут	7 сут	28 сут
Контрольный	19,6	24,1	41,4
ПРИМ-1	21	28,6	50,8
ПРИМ-1+стеарат цинка	22,1	27,3	49,8

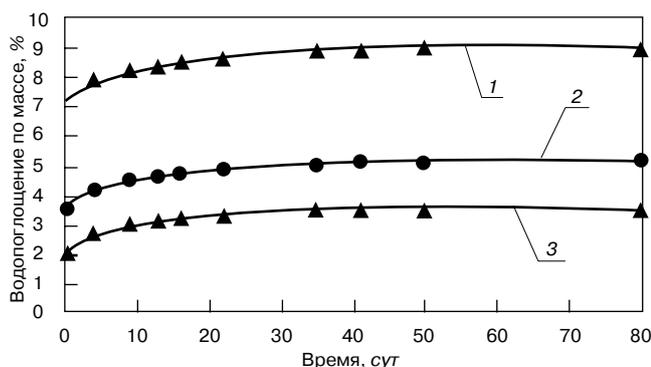


Рис. 3. Кинетика водопоглощения по массе КШВ с порошкообразным ПРИМ-1 и комплексом ПРИМ-1+стеарат цинка: 1 – контрольный; 2 – гидрофобизированный ПРИМ-1; 3 – гидрофобизированный комплексом ПРИМ-1+стеарат цинка

шлака и доломитизированного иссинского известняка в соотношении компонентов шлак:известняк=1:1,7. Модификатор ПРИМ-1 дозировали в количестве 3,5 % от массы смеси. Следующий состав содержал комплекс ПРИМ-1:стеарат цинка=6:1, т. е. от массы вяжущего брались 3% ПРИМ-1 и 0,5% стеарата цинка. Смесь затворяли раствором щелочи в количестве 3% от массы смеси при В/Т=0,14. После твердения в течение 28 сут в нормально-влажностных условиях образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре $100 \pm 5^\circ\text{C}$ и определяли водопоглощение по массе.

В таблице показаны значения прочности при осевом сжатии гидрофобизированного состава при нормально-влажностном твердении в течение 28 сут.

Позитивным фактором является то, что прочность при сжатии гидрофобизированных КШВ составов как в начальные, так и в нормативные сроки испытания образцов выше значений контрольного состава. В отличие от стеаратов металлов добавка не снижает прочности вяжущего даже при 5% содержании.

На рис. 3 показана кинетика водопоглощения по массе в течение 80 сут насыщения образцов в воде гидрофобизированного карбонатно-шлакового вяжущего (КШВ) порошкообразным ПРИМ-1 и комплексом ПРИМ-1+стеарат цинка.

Водопоглощение по массе КШВ, гидрофобизированного составом ПРИМ-1, в первые часы водонасыщения в 3 раза ниже значения контрольного состава.

При более длительном нахождении в воде эффективность гидрофобизирующего действия сохраняется. Состав, гидрофобизированный модификатором ПРИМ-1, за 80 сут экспонирования в воде насытил 5,2% воды, что ниже негидрофобизированного состава в 1,73 раза, а с комплексом ПРИМ-1+стеарат цинка – 3,5%, что ниже контрольного в 2,6 раза.

Коэффициент длительной водостойкости гидрофобизированных составов равен 1,02, что свидетельствует о высокой гидрофобности минерально-шлакового вяжущего с модификатором ПРИМ-1.

Гидрофобизация КШВ модификатором ПРИМ-1 служит положительным фактором получения не только высокогидрофобных материалов, но и малоусадочных, малонабухающих. Порошкообразный гидрофобизатор, вводимый непосредственно в тело строительных материалов, препятствует проникновению влаги.

Полученные данные по гидрофобизации КШВ позволяют рекомендовать порошковые ПРИМ-1 и комплекс ПРИМ-1+стеарат цинка в качестве эффективных добавок-гидрофобизаторов с длительным устойчивым эффектом гидрофобизации.

С экономической и экологической точек зрения ПРИМ-1 выгоден тем, что при консервации жидкого то-

плива получается новый и эффективный гидрофобизатор щелочных бетонов, который по стоимости будет значительно ниже, чем стеараты металлов. Как показывают эксперименты по физико-техническим и гигрометрическим показателям, такие высокогидрофобные КШВ мало уступают по гидрофобности вяжущим, модифицированным готовыми торговыми стеаратами [1–3]. Стоимость ПРИМ-1 при организации технологии его производства может быть в несколько раз меньше, чем товарных стеаратов металлов.

Научно-исследовательская работа по разработке эффективной гидрофобной добавки ПРИМ-1 ведется при поддержке гранта РААСН для молодых ученых и специалистов (госрегистрация № 0016118 от 01.02.01 г.).

Ключевые слова: гидрофобизатор, консервация мазута, щелочной бетон.

Список литературы

1. Калашников В.И., Мороз М.Н., Хвастунов В.Л., Нестеров В.Ю., Василик П.Г. Органические гидрофобизаторы в минерально-шлаковых композиционных материалах из горных пород // Строительные материалы. 2005. № 4. С. 26–29.
2. Калашников В.И., Мороз М.Н., Нестеров В.Ю., Хвастунов В.Л., Василик П.Г. Металлоорганические гидрофобизаторы для минерально-шлаковых вяжущих // Строительные материалы. 2006. № 10. С. 38–39.
3. Калашников В.И., Мороз М.Н., Худяков В.А., Василик П.Г. Высокогидрофобные строительные материалы на минеральных вяжущих // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 81–83.

Центр Бетонных Технологий
при поддержке
Ассоциации «Железобетон»
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева
ООО «Эм-Си Баухеми»

Конференция
Гидроизоляция подземных сооружений

22–23 сентября 2011 г. Москва

Тематика:

- Опыт герметизации деформационных швов в тоннельном строительстве
- Устройство деформационных швов при новом строительстве
- Методика обследования зданий на примере завода по производству керамики и вытяжек ОАО «Элмат» (Калуга)
- Ликвидация течей в подземных сооружениях на примере объектов гостиницы «Минск» (Москва)
- Опыт применения гидроизоляционных материалов на строительстве транспортных тоннелей и подземных сооружений
- Система материалов «Nafuflex». Гидроизоляционные полимерно-битумные толстослойные эмульсионные мастики холодного нанесения

*В рамках программы предусмотрена техническая экскурсия на
Запасной командный пункт «Таганский»*

Место проведения:
Москва, Измайловское ш., д. 71, КГ «Измайлово», корпус «Гамма-Дельта»

Организационный комитет:
Телефон: +7 (812) 331-81-84
Козлова Наталья – тел. +7 962 706 87 03
e-mail: natalia.kozlova@beton-center.ru www.beton-center.ru

УДК 691.16:625.855.4

Ю.Г. БОРИСЕНКО, канд. техн. наук, ГОУ ВПО Северо-Кавказский государственный технический университет (СевКавГТУ); В.В. ЛЫННИК, инженер (borisenko2005@yandex.ru), НОУ ВПО Северо-Кавказский гуманитарно-технический институт (СевКавГТИ); О.А. БОРИСЕНКО, канд. техн. наук, ГОУ ВПО Северо-Кавказский государственный технический университет (СевКавГТУ) (Ставрополь)

Повышение качества легких битумоминеральных композиций путем совершенствования подбора минеральных составов

Одним из перспективных и актуальных направлений развития композиционных материалов на органических связующих является создание эффективных битумоминеральных композиций на природных и искусственных легких пористых заполнителях (вулканическая пемза, вспученный перлит, вспученный вермикулит, керамзит и т. д.) [1–4]. Такие битумоминеральные композиции перспективно применять в дорожном, промышленном и гражданском строительстве в качестве конструктивных слоев дорожных и мостовых покрытий и др. Известные легкие битумоминеральные композиции наряду с положительными качествами, которые обуславливаются легким пористым заполнителем (невысокие плотность и масса, низкие коэффициенты теплопроводности и линейного температурного расширения, повышенные деформативность и демпфирующая способность, низкие модули упругости, неплохие гидроизоляционные качества), имеют и ряд серьезных отрицательных аспектов, препятствующих их широкому промышленному внедрению.

При использовании вулканических стекол и пемзы в качестве минерального заполнителя битумоминеральных смесей выявлены невысокие водостойкость и прочностные показатели, повышенная битумоемкость [1], что также присуще и битумоминеральным композициям на основе вспученных перлита и вермикулита [2, 3]. Битумоперлитовые композиции с течением времени становятся водо- и паропроницаемыми, что значительно снижает их долговечность. Они также обладают невысокой коррозийной стойкостью.

Наиболее эффективным, на взгляд авторов, легким пористым заполнителем для применения в битумоминеральных композициях является керамзит. Согласно проведенным исследованиям [4] использование в качестве заполнителя дробленого керамзита значительно повышает физико-механические и деформативные свойства таких композиций. Однако существенным их недостатком является повышенная битумоемкость, которая обусловлена наличием большого количества открытых пор в дробленном материале [4].

С целью изучения влияния зернового состава, особенностей формы и поверхности дробленых и недробленых керамзитовых гранул на физико-механические и эксплуатационные характеристики легких битумоминеральных композиций с заполнителем на основе керамзита был проведен ряд экспериментальных исследований.

Разработаны составы легких битумоминеральных композиций мелкозернистого состава типа Б и песчаного – типа Г (составы №№ 1, 2, 4, 5, таблица). В составах № 1 и 4 в качестве крупного заполнителя (соответственно фракции 20–5 мм и 5–2,5 мм) использовали недробленный керамзитовый гравий марки 600. Песчаные фракции – отсеvy дробления керамзитового гравия, фракции менее 0,16 мм – неактивированный известняковый порошок. Минеральная часть составов № 2 и 5 – отсеvy дробления керамзитового гравия фракций соответственно 20–0,16 и 5–0,16 мм, а фракции менее 0,16 мм – неактивированный минеральный порошок. Для сравнения были запроектированы составы – прототипы асфальтобетонных смесей зернового

№ состава	Тип смеси	Содержание битума, С, об. %	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа			Водонасыщение, %	Набухание, %	Коэффициенты водостойкости		Показатели сдвиговой устойчивости		Прочность при растяжении при расколе, МПа
				R ₀	R ₂₀	R ₅₀			k _в	k _{вд}	tgφ	Сл, МПа	
1	Мелкозернистая, тип Б	10	1530	10,6	6,4	3,06	3,8	0,4	0,94	0,9	0,96	0,41	4,36
2		10,5	1510	10,3	5,9	2,47	3,6	0,45	0,92	0,9	0,95	0,4	4,06
3		6	2310	7	4,7	2	2,9	0,5	0,92	0,9	0,94	0,4	3,05
Требования ГОСТ 9128–2009 Тип Б, I марка, IV, V дорожно-климатическая зона		5–6,5	–	≤13	≥2,5	≥1,3	1,5–4	–	≥0,85	≥0,75	≥0,83	≥0,38	4–6,5
4	Песчаная, тип Г	10,4	1720	10,5	6,48	3,3	2,35	0,38	0,9	0,9	0,92	0,4	5,23
5		11	1680	10,4	6,45	3,15	2,85	0,39	0,91	0,9	0,9	0,39	4,93
6		7,5	2250	8,9	5,3	3,1	3,1	0,4	0,93	0,91	0,89	0,38	3,55
Требования ГОСТ 9128–2009 Тип Г, I марка, IV, V дорожно-климатическая зона		6–9	–	≤13	≥2,5	≥1,6	1,5–4	–	≥0,85	≥0,75	≥0,82	≥0,38	4–6,5

состава, тип Б и Г на плотном минеральном заполнителе (отсевах дробленого гранитного щебня) и на неактивированном известняковом порошке (составы № 3 и 6 соответственно). В качестве вяжущего применяли вязкий дорожный битум марки БНД 60/90. Отсевы дробления керамзита получали размолем керамзитового гравия в лабораторной шаровой мельнице и рассеиванием на фракции. Предварительно экспериментально было определено оптимальное количество битума для каждого состава.

Для оценки влияния зернового состава, особенностей поверхности, формы легкого пористого заполнителя на свойство предложенных легких битумо-минеральных композиций определяли их физико-механические показатели, водостойкость, сдвигоустойчивость и трещиностойкость в соответствии с ГОСТ 12801–98. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице.

Как известно, битумо-минеральные композиции на легких пористых заполнителях имеют достаточно высокую битумоемкость, и снижение этого показателя для таких материалов является одной из актуальных проблем. В результате проведенных исследований выявлено, что снизить битумоемкость легких битумо-минеральных смесей из отсевов дробления керамзита возможно за счет снижения открытой пористости дробленого заполнителя, т. е. включения в его состав фракций недробленого керамзитового гравия. Так, при включении недробленных гранул керамзита в мелкозернистую смесь типа Б (состав № 1) битумоемкость (в сравнении с составом № 2) снизилась на 4,8%, а для песчаной смеси типа Г (состав № 4) – на 5,5% (в сравнении с составом № 5).

Плотность (ρ) предложенных легких битумо-минеральных композиций при включении в их состав фракций керамзитового гравия незначительно повышается (на 1,3–2,4%). В среднем же плотность легких битумо-минеральных композиций примерно на треть ниже плотности асфальтобетонов на плотном заполнителе.

Прочностные показатели (прочность при сжатии при 0°C R_0 и прочность при сжатии при 20°C R_{20}) и теплостойкость (прочность при сжатии при 50°C R_{50}) предложенных легких битумо-минеральных композиций значительно превышают аналогичные показатели асфальтобетонов-прототипов. Наибольшей прочностью и теплостойкостью обладают композиции с заполнителем, включающим фракции керамзитового гравия (составы № 1 и 4). Более низкие прочность и теплостойкость композиций из отсевов дробления керамзита обуславливаются, по всей видимости, наличием микродефектов и микротрещин дробленого пористого заполнителя.

Водостойкость предложенных композиций оценивали по водонасыщению W , набуханию H , коэффициентам водостойкости k_v и коэффициентам водостойкости при длительном водонасыщении $k_{вд}$. Водонасыщение мелкозернистых легких битумо-минеральных композиций соответствует требованиям ГОСТа и имеет наиболее низкое значение для композиции с заполнителем из отсевов дробления керамзита (состав № 2). Для песчаных составов наиболее низкое значение W , равное 2,35%, зафиксировано у легкой битумо-минеральной композиции с заполнителем, включающим фракции керамзитового гравия (состав № 4). Показатели набухания H имеют достаточно низкие значения для всех исследуемых смесей и сопоставимы. Коэффициенты k_v и $k_{вд}$ легких битумо-минеральных композиций составляют в среднем 0,9–0,94 и не уступают аналогичным показателям асфальтобетонов-прототипов.

Определение характеристик сдвигоустойчивости – коэффициента внутреннего трения $\text{tg}\phi$ и показателя сцепления S_l производили по двум схемам: при одноосном сжатии образцов и сжатии образцов специаль-

ным обжимным устройством по схеме Маршала (ГОСТ 12801–98). Установлено, что мелкозернистые легкие битумо-минеральные композиции обладают повышенной сдвигоустойчивостью. Наиболее высокие показатели коэффициента внутреннего трения и сцепления зафиксированы у композиции с заполнителем, включающим фракции керамзитового гравия (для состава № 1 $\text{tg}\phi$ равен 0,96, а S_l равен 0,41 МПа), что обеспечивается более высокой жесткостью минерального остова композиций. Для песчаных смесей сдвигоустойчивость характеризуется аналогичным образом, но показатели $\text{tg}\phi$ и S_l незначительно ниже.

Трещиностойкость оценивали прочностью на растяжение при расколе R_p . Наиболее высокие значения показателей R_p зафиксированы у легких битумо-минеральных композиций с заполнителем, включающим фракции керамзитового гравия. Максимальное значение показателя R_p , равное 5,23 МПа, соответствует композиции с зерновым составом песчаного типа Г (состав № 4).

Анализируя вышеизложенные результаты экспериментальных исследований легких битумо-минеральных композиций, можно сделать выводы:

1. Введение в состав заполнителя легких битумо-минеральных смесей фракций керамзитового гравия позволяет снизить битумоемкость за счет низкой открытой пористости гранул керамзита, при этом наблюдается незначительный прирост плотности композиций.
2. Замена в легких битумо-минеральных композициях фракций отсевов дробления керамзита (фракции 20 – 2,5 мм) на керамзитовый гравий повышает прочность и теплостойкость. Водостойкость таких композиций достаточно высока и сопоставима с водостойкостью асфальтобетонов-прототипов на плотном заполнителе.
3. Присутствие в составах легких битумо-минеральных композиций фракций керамзитового гравия улучшает показатели сдвигоустойчивости и повышает показатели трещиностойкости, что, возможно, объясняется отсутствием у гранул керамзитового гравия многочисленных дефектов и микротрещин, которые возникают в дробленом пористом заполнителе в результате его размола.
4. Исходя из сравнения физико-механических и эксплуатационных показателей легких битумо-минеральных композиций и асфальтобетонов-прототипов на плотном заполнителе выявлено превосходство предложенных композиций по большей части исследуемых параметров, что свидетельствует об их повышенной эффективности и качестве.

Ключевые слова: легкие битумо-минеральные композиции, керамзит, зерновой состав, битумоемкость, трещиностойкость, сдвигоустойчивость.

Список литературы

1. Рудь В.П. Строительные материалы из вулканических водосодержащих стекол // Строительные материалы. 1982. № 10. С. 18.
2. Шмелева Л.А. Физико-химические превращения в битумоперлите и битуме в условиях эксплуатации // Строительные материалы. 1984. № 4. С. 23.
3. Агейкин В. Н., Свинтицких Л.Е., Шабанова Т.Н., Ключев А.А. Исследования влияния вспученного вермикулитового песка на свойства битумных композиций и асфальтобетона // Строительные материалы. 2003. № 7. С. 40–42.
4. Борисенко Ю.Г., Борисенко О.А. Особенности структуры легких асфальтобетонов // Строительные материалы. 2007. № 10. С. 64–65.

В.А. УШКОВ, канд. техн. наук, А.М. СЛАВИН, инженер,
Г.О. МАНУХОВ, инженер (man7613@mail.ru), Московский государственный
строительный университет (ГОУ ВПО МГСУ); Ю.К. НАГАНОВСКИЙ, канд. техн. наук,
ФГУ ВНИИПО МЧС России (Москва)

Прочность и термостойкость вторичного полипропилена, наполненного отходами гальванических производств

Эффективным направлением утилизации промышленных отходов является использование их в качестве вторичного сырья при производстве строительных материалов и изделий. Это позволит не только снижать антропогенную нагрузку на окружающую природную среду, но и экономить первичное сырье и энергоресурсы. Среди промышленных отходов большой объем занимают гальванические шламы, образующиеся при нейтрализации сточных вод гальванических цехов. Они, как правило, являются смесью гидроксидов и основных углекислых солей тяжелых металлов. Основным способом переработки гальванических шламов – ферритизация и производство строительных материалов, при котором происходит связывание солей тяжелых металлов или остекловывание их при высокой температуре с целью предупреждения выщелачивания токсичных металлов в окружающую природную среду [1].

Перспективным направлением утилизации отходов гальванических производств (ОГП) является разработка на их основе железооксидных пигментов, красочных составов и полимерных композиционных материалов, обладающих высокими технологическими и эксплуатационными свойствами. Так, в работах [2, 3] описываются смешанные железооксидные пигменты (СЖП) на основе ОГП, которые являются однородной механической смесью гематита ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) с оксидами CaO , Cr_2O_3 , NiO , Al_2O_3 и небольшим включением твердого раствора состава $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. В работе [4] предложено использовать ОГП в качестве минеральных наполнителей при производстве химически стойких полимерных строительных материалов (ПСМ) на основе мономера ФАМ, эпоксидной и ацетоноформальдегидных смол.

Широкое применение ОГП могут получить при производстве строительных изделий из высоконаполненных вторичных полиолефинов. Свойства вторичного полипропилена (ВПП) зависят от условий эксплуатации полимерных изделий: чем меньше они были подвержены внешним воздействиям, тем больше их свойства приближены к свойствам первичного полимера. При эксплуатации полимерных изделий в жестких климатических условиях долговечность ВПП не превышает 60–75% долговечности первичного полимера. Повышение эффективности вторичных полиолефинов достигается за счет создания на их основе высоконаполненных ПСМ [5]. Поэтому представлялось целесообразным исследовать прочностные и термические свойства ВПП, наполненного ОГП и СЖП.

Наполненный (0–30 мас. %) ВПП получали методом пресс-формования при удельном давлении 30–40 МПа и 170–190°C. Перед применением ОГП высушивали до постоянной массы при 80°C в течение 3 ч, прокаливали при 700°C в течение 2 ч и измельчали в шаровой мельнице до частиц размером 10–15 мкм.

Прокаленные ОГП представляют собой смесь различных оксидов металлов. Температуру плавления ($T_{\text{пл}}$) и показатели текучести расплава (ПТР) вторичного полипропилена изучали по ГОСТ 11645–73. Физико-механические свойства наполненного ВПП определяли по действующим ГОСТам, а модуль упругости рассчитывали по формуле Герца [6]. Термомеханический анализ наполненного ВПП проводили на термомеханическом анализаторе Q400, используя пенетрационный зонд, при нагрузке на пуансон 0,01 Н и скорости роста температуры 5°C/мин. Для оценки механической работоспособности наполненного ВПП исследовали релаксацию напряжения на приборе конструкции Дубова–Регеля [7] на образцах размером 4×4×6 мм при 20–110°C и постоянной деформации (3%) при скорости деформирования 0,75 мм/мин. Термостойкость наполненного ВПП исследовали на воздухе с помощью автоматизированной модульной термоаналитической системы DuPont-9900 при нагреве со скоростью 20°C/мин.

В результате проведенных исследований установлено, что термомеханические свойства ВПП, наполненного 2–30 мас. % СЖП, на 5°C выше, чем у ненаполненного вторичного полимера. Содержание СЖП практически не влияет на температуру плавления ВПП: $T_{\text{пл}} = 167\text{--}170^\circ\text{C}$. $T_{\text{пл}}$ и ПТР вторичного полимера и ВПП, содержащего 6 мас. % СЖП, равны 165 ± 2 и $170\pm 2^\circ\text{C}$, $10,4\pm 1$ и $12\pm 1,2$ г/10 мин соответственно. По данным ДСК, теплота плавления ВПП снижается с ростом содержания пигмента (до 8 мас. % СЖП) с 78,3 до 54,3 кДж/кг. Следовательно, ПСМ на основе ВПП, наполненные СЖП, можно эксплуатировать в том же интервале температуры, что и материалы из первичного полипропилена.

Физико-механические свойства и термостойкость ВПП, содержащего в качестве пигмента СЖП, приведены в табл. 1. Из табл. 1 следует, что физико-механические свойства ВПП зависят от степени наполнения полимерной композиции. Так, например, прочность при изгибе и твердость по Бринеллю с ростом содержания СЖП до 8 мас. % возрастают. Одновременно снижаются прочность при сжатии и растяжении, относительное удлинение при разрыве и удельная ударная вязкость ВПП. В то же время содержание пигмента не оказывает существенного влияния на модуль упругости материала при растяжении. С ростом содержания пигмента в исходной композиции повышается термоокислительная стабильность ВПП. Одновременно увеличивается выход коксового остатка при пиролизе.

Таким образом, ВПП, содержащий в качестве пигмента СЖП, имеет не только хорошие декоративные свойства и привлекательный внешний вид, но и более высокие физико-механические свойства и термоокислительную стабильность по сравнению с ненаполнен-

Таблица 1

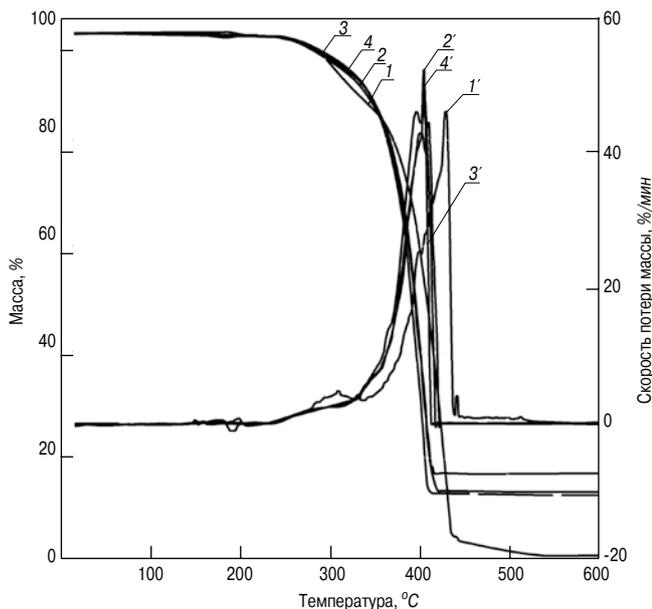


Рис. 1. ТГ(1, 2, 3, 4)– и ДТГ(1', 2', 3', 4')–кривые вторичного полипропилена, наполненного смешанным железоксидным пигментом: 1, 1' – 10%; 2, 2' – 15%; 3, 3' – 20%; 4, 4' – 30%

ным вторичным полимером. Оптимальным содержанием СЖП как пигмента полиолефиновых композиций является ~4 мас. %.

Более заметно стабилизирующее действие СЖП проявляется при высоком содержании пигмента. На рис. 1 представлены ТГ- и ДТГ-кривые, а в табл. 2 – результаты термического анализа ВПП, наполненного СЖП. С повышением содержания СЖП возрастает температура 5, 10, 20 и 50%-й потери массы и максимальной скорости разложения наполненного ВПП. Одновременно повышается выход коксового остатка пиролиза наполненного ВПП при 600°C (табл. 2).

Физико-механические свойства ВПП зависят от степени наполнения и химической природы ОГП (рис. 2). Так, например, твердость по Бринеллю и модуль упругости, рассчитанный по формуле Герца, при 30%-м наполнении возрастают с 41 и 820 МПа до 44–45,3 и 855–873 МПа соответственно. Прочность при сжатии ВПП повышается с 26,3 до 29,6–35,2 МПа при 25% наполнении ОГП. В то же время прочность при изгибе и удельная ударная вязкость ВПП снижаются с ростом степени наполнения с 58,1 МПа и 59 кДж/м² до

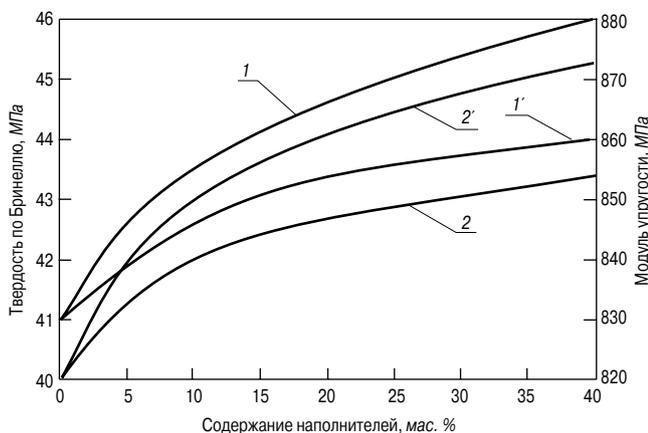


Рис. 2. Зависимость твердости (1, 1') и модуля упругости (2, 2') вторичного полипропилена от содержания отходов гальванических производств: 1, 2 – СЖП; 1', 2' – ОГП с повышенным содержанием хрома

Показатели	Содержание СЖП, мас. %				
	0	2	4	6	8
Плотность, кг/м ³	909,5	914,4	918,3	921,6	924
Прочность, МПа, при растяжении изгибе сжатии	34,4	33,2	32	31,3	30,8
	41,6	47,4	49	49,7	50,1
	26,3	18	25,9	41,7	23,1
Относительное удлинение при разрыве, %	41,2	38,8	36,5	32,1	28,2
Модуль упругости, МПа, при сжатии растяжении	690	579	640	758	976
	845	856	864	868	872
Удельная ударная вязкость, кДж/м ²	53,9	45,1	38,9	27,7	14,2
Твердость по Бринеллю, МПа	41,5	42,4	43,2	43,8	44,1
Температура, °С 5% потери массы 10% потери массы 50% потери массы	290	288	285	284	286
	300	307	306	305	293
	375	377	380	382	382
	396	397	399	400	401
Максимальная скорость разложения, %/мин	35,1	32,3	28,8	37,6	32
Коксовый остаток при 550°C, %	0	0,8	2	3,7	7,4

41–52 МПа и 28,8–32,5 кДж/м² соответственно при 25%-м содержании ОГП. Введение более 15 мас. % ОГП значительно снижает относительное удлинение при разрыве ВПП, что связано с ограничением подвижности макромолекул полипропилена и увеличением жесткости материала. При наполнении происходит также повышение вязкости, снижение текучести расплава полимера.

Установить влияние химической природы ОГП на прочность наполненного ВПП не представляется возможным. Так, например, максимальные значения прочности при сжатии и изгибе ВПП реализуются при наполнении ОГП с повышенным содержанием железа. В то же время максимальные значения твердости и модуля упругости при сжатии наблюдаются у ВПП, наполненного ОГП с повышенным содержанием меди, а удельная ударная вязкость – при использовании ОГП с повышенным содержанием хрома. Физико-механические свойства наполненного (10 мас. %) ВПП приведены в табл. 3. В то же время ОГП практически не влияют на термостойкость наполненных ВПП.

Одним из способов оценки механической работоспособности ВПП является измерение релаксации напряжения в интервале 20–110°C, соответствующего диапазону рабочей температуры первичного полипропилена. Кривые релаксации напряжения исходного ВПП и наполненного 15 мас. % СЖП приведены на рис. 3. Очевидно, что напряжение значительно релаксирует при постоянной деформации и квазиравновесный модуль упругости E_{∞} существенно ниже, чем начальный модуль E_0 , который соответствует окончанию «мгновенного» задания деформации. Поэтому такие понятия, как закон Гука, разрушающее напряжение и т. п., в случае термопластичных полимеров неприменимы, и их механическую работоспособность следует оценивать по релаксационным кривым. С помощью полученных кривых релаксации напряжения были построены обобщенные релаксационные кривые ВПП, наполненного СЖП.

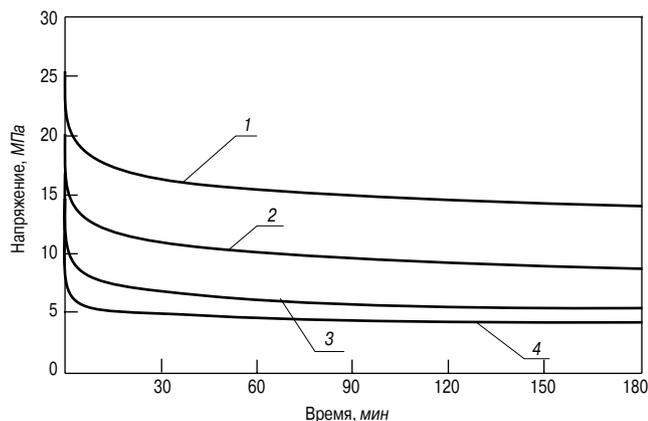


Рис. 3. Кривые релаксации напряжения вторичного полипропилена, наполненного 15 мас. % СЖП, при температуре, °С: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 70; 4 – 110

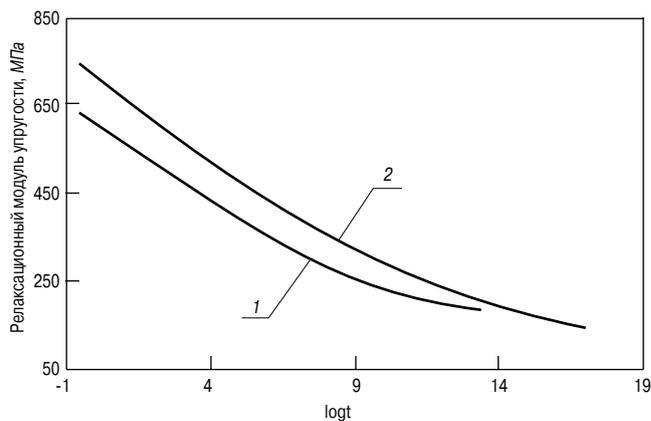


Рис. 4. Обобщенные релаксационные кривые ВПП (1) и вторичного полимера, наполненного 15 мас. % СЖП (2)

На рис. 4 в качестве примера показаны обобщенные кривые релаксации напряжения вторичного полипропилена и наполненного ВПП в координатах $E - \log t$, где t – время, мин. Построение обобщенной релаксационной кривой проводили путем параллельного сдвига исходных кривых релаксации напряжения вдоль оси $\log t$ по специальной ЭВМ-программе, позволяющей осуществлять такое построение автоматически [8]. При построении обобщенной релаксационной кривой применяется принцип температурно-временной аналогии, согласно которому длительность релаксации и температура оказывают одинаковое влияние на релаксирующее напряжение. Обобщенные релаксационные кривые характеризуют механическую работоспособность полимера при заданной деформации. Обобщенная кривая ВПП располагается ниже аналогичной кривой для вторичного полипропилена, наполненного СЖП (рис. 4). Следовательно, наполненный ВПП в одних и

тех же условиях выдерживает гораздо большие механические напряжения без разрушения, чем исходный вторичный полимер. Следовательно, наполненный ВПП может использоваться для изготовления более жестких конструкций.

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что применение СЖП для получения композиционных материалов на основе ВПП способствует повышению модуля упругости и прочности, снижению деформируемости материалов. СЖП позволяет получать композиционные строительные материалы на основе полиолефиновых отходов потребления, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. Оптимальным содержанием СЖП как наполнителя в строительных изделиях из ВПП, получаемых методом экструзии, является ~15 мас. %.

Ключевые слова: вторичный полипропилен, железистый пигмент, прочность, термостойкость, наполнитель, кривые релаксации, модуль упругости.

Таблица 2

Показатели	Содержание СЖП, мас. %			
	10	15	20	30
Температура, °С				
5%-й потери массы	293	298	301	305
10%-й потери массы	311	317	323	332
50%-й потери массы	384	386	390	398
максимальной скорости разложения	401	403	406	411
Максимальная скорость разложения, %/мин	44,9	45	43,5	46,7
Коксовый остаток при 600°С, %	9,8	12,5	15,3	19,8

Таблица 3

Показатели	Наполнители			
	СЖП	ОГП с повышенным содержанием		
		железа	меди	хрома
Прочность, МПа, при сжатии	31,2	32,9	29,6	28,8
изгибе	41,5	53,6	41,7	39,4
Модуль упругости, МПа, при сжатии	724	804	860	706
рассчитанный по формуле Герца	846	852	868	859
Твердость по Бринеллю, МПа	44,5	43,3	46,2	43,9
Удельная ударная вязкость, кДж/м ²	48,4	50,3	49,7	54,9

Список литературы

1. Зайнуллин Х.Н., Бабков В.В., Закиров Д.М. и др. Утилизация осадков сточных вод гальванических производств. М.: Руда и металлы, 2003. 272 с.
2. Орлова А.М., Славин А.М. Исследование свойств смешанного железистого пигмента на основе гальваншламов // Промышленное гражданское строительство. 2009. № 12. С. 55–56.
3. Орлова А.М., Славин А.М. Методика синтеза смешанных железистых пигментов и красочных составов на их основе // Вестник МГСУ. 2010. № 2. С. 219–224.
4. Орлова А.М., Шевченко Ю.В., Славин А.М. Использование отходов гальванических производств в полимерных композициях // Конструкции из композиционных материалов. 2006. № 2. С. 29–35.
5. Ушков В.А., Голованов А.В., Нагановский Ю.К. Термостойкость и пожарная опасность материалов на основе вторичных полиолефинов // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 82–84.
6. Лопатин В.В., Аскадский А.А. Полиакриламидные гидрогели в медицине. М.: Науч. мир, 2004. 261 с.
7. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. М.: Химия, 1978. 330 с.
8. Пахнева О.В., Попова М.Н., Аскадский А.А., Марков В.А. и др. Анализ механической работоспособности вторичного полипропилена // Пластические массы. 2007. № 7. С. 47–49.

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/м² ("Удар")
5...300 МН/м² ("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/м²
-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



ДИНАМОМЕТРЫ

ДМС-МГ4 / ДМР-МГ4

эталонные

сжатия / растяжения
предельная нагрузка
1...1000 кН



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.

С.А. МАМОНТОВ, инженер (kardinal61@mail.ru), О.А. КИСЕЛЕВА, канд. техн. наук, Тамбовский государственный технический университет

Тепловое старение пенопластов, применяемых в ограждающих конструкциях

В последнее время пенопласты получили широкое применение в строительстве в качестве теплоизоляции. Одним из существенных недостатков этих материалов является их подверженность старению (тепло- и фото-), приводящая к изменению физико-механических свойств, а частую и структуры материала [1, 2]. Защитить материал от действия солнечного света возможно, используя различные покрытия. С теплостарением все сложнее.

В качестве объектов исследования взяты такие пенопласты, как пенополистирол ПСБ-С35 и жесткий пенополиуретан Изолан 210–1.

Проведение испытаний на старение в реальных (естественных) условиях требует больших затрат времени, поэтому для ускорения процессов теплового старения образцы подвергались действию температуры 60 и 80°C в течение заданного времени (t). Такой режим испытаний выбран на основе анализа существующих по данному направлению работ. Использование более высокой температуры нецелесообразно, так как полистирол относится к термопластам и при температуре выше 90–110°C (в зависимости от марки) происходит оплавление образцов пенополистирола со значительным уменьшением объема. Затем образцы термостатировали при комнатной температуре (18–20°C), после чего проводили испытания по определению физических (изменение массы, плотности, водопоглощения по объему W_0) и механических (прочность при поперечном изгибе σ и твердость Н) свойств.

Для пенопластов не предусмотрены стандартные испытания на твердость при пенетрации, однако изменение данной характеристики позволяет судить о старении поверхностных слоев. Для измерения твердости использован метод Бринелля, который часто применяется при определении твердости строительных материалов и отличается простотой и доступностью. Полученные зависимости представлены на рис. 1.

Проследим, как влияет тепловое старение на структуру и физико-механические свойства пенопластов. Под действием тепла в пенополистироле и пенополи-

уретане происходит выгорание отдельных компонентов, приводящее к незначительному снижению их массы и уменьшению размеров. После 150 ч действия фактора наблюдается увеличение плотности, что, в свою очередь, способствует ухудшению теплофизических свойств пенопластов [3].

Пенополистирол состоит из мелкоячеистых сферических частиц (гранул) диаметром 3–10 мм, спекшихся между собой. Между гранулами имеются пустоты объемом 2–4%. Таким образом, структура представляет собой совокупность полых тонкостенных ячеек разнообразной формы, стенки которых образованы полимером-основой [3]. При нормальных условиях стенки ячеек непроницаемы для воды. Она проникает в материал только по каналам между ними, поэтому сам пенопласт обладает низкой величиной водопоглощения и набухания. После воздействия теплового старения в течение 10 ч в пенополистироле происходит разрушение отдельных связей, соединяющих ячейки, что увеличивает его водопоглощение в 2 раза (рис. 1, в). В свою очередь, утеплитель является зоной возможной конденсации паров в ограждающей конструкции и при переменном замораживании-оттаивании может рассыпаться на гранулы.

Разрушение отдельных связей в пенополистироле, а также другие изменения структуры подтверждаются и dilatометрическими испытаниями [2]. Что касается механических свойств пенопласта (прочность и твердость), то наличие дефектов также способствует снижению их величины (рис. 1, а, б).

Дальнейшее действие повышенной температуры (до 50 ч) приводит к образованию на поверхности материала непрерывной пленки за счет оплавления отдельных ячеек. Пленка препятствует проникновению воды в глубь материала и возникновению начальных трещин в растянутой зоне образца при испытаниях на поперечный изгиб. В результате наблюдается увеличение прочности и снижение величины водопоглощения (до первоначального значения). Незначительный рост твердости пенополистирола начинается только после 50 ч те-

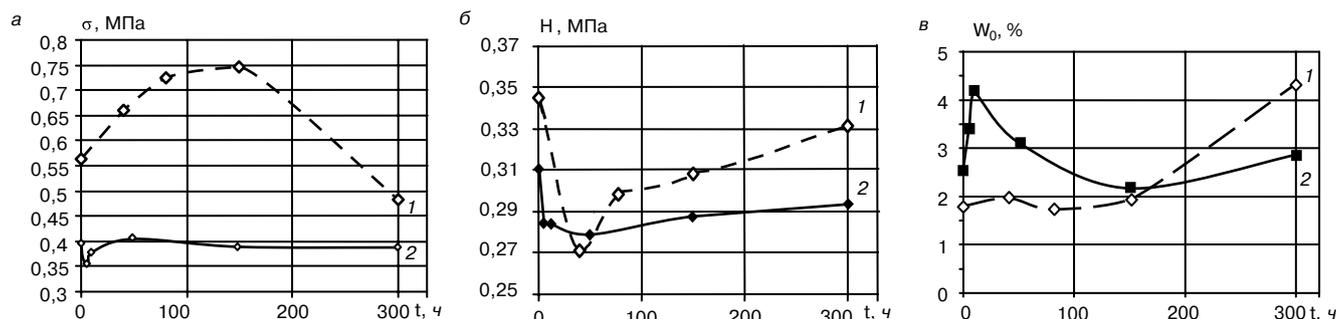


Рис. 1. Влияние теплового старения на свойства пенополиуретана (1) и пенополистирола (2): а – прочность при поперечном изгибе; б – твердость по Бринеллю; в – водопоглощение по объему

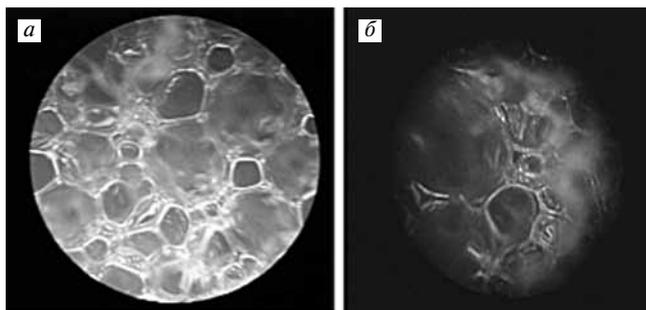


Рис. 2. Микрофотографии пенополиуретана Изолан 210-1: а – до теплового старения; б – после 5 ч теплового старения при температуре 140°C [5]

плового старения, что объясняется утолщением пленки (рис. 1, б).

После 150 ч действия фактора наблюдается значительное замедление процессов (рис. 1). Однако при длительном теплостарении (более 300 ч) происходит разрушение радикалов самого полистирола (пленка на поверхности пенопласта начинает разрушаться) [1].

Пенополиуретан имеет мелкоячеистую структуру. За счет состава полимера его старение протекает с другой скоростью. В первые 50 ч действия фактора наблюдается незначительное поверхностное разрушение материала (отдельные связи лопаются), что подтверждается dilatометрическими испытаниями и микрофотографиями (рис. 2) [4, 5]. В результате твердость материала падает (рис. 1, б). Однако с первых же часов процесс старения сопровождается образованием новых связей в пенопласте в результате доотверждения полимера. Данное явление характерно для большинства материалов на основе терморезактивных полимеров и приводит к росту механических свойств в первые часы старения [6]. В результате гидрофизические свойства пенополиуретана не изменяются, а прочность увеличивается.

После 150 ч действия фактора разрушение связей происходит интенсивнее и на большей глубине, что приводит к снижению прочности и увеличению водопоглощения пенополиуретана (рис. 1, а, в).

Большое влияние на свойства пенопластов оказывает не только длительность теплового старения, но и температура. При 60°C процесс протекает медленнее. Разрушение отдельных связей между ячейками происходит в течение первых 100 ч, а при 80°C – 10 ч. При этом дефектов образуется меньше и свойства меняются незначительно. В следующие 100 ч старения свойства пенополистирола восстанавливаются за счет образования пленки на ее поверхности [7].

Старение пенополистирола осуществлялось также и в естественных условиях под прямыми солнечными лучами при средней температуре воздуха 35°C в течение 630 ч (1 год для средних широт). В данном случае процессы протекали очень медленно. После 630 ч показатели плотности и водопоглощения пенопласта соответствуют показателям, полученным после 150 ч теплового старения при 80°C. В то же время прочность снизилась на 11%, а твердость на 12,5%, что соответственно равно 5 и 50 ч теплового старения при 80°C. Разная скорость изменения физических и механических свойств объясняется отсутствием пленки на поверхности пенополистирола, состаренного в натуральных условиях.

Из полученных данных можно сделать следующие выводы.

Для пенополистирола в отличие от ППУ характерно значительное изменение свойств на начальном этапе теплового старения. Однако большее влияние данный фактор оказывает на ППУ.

Для увеличения срока службы пенопластов, применяемых при теплоизоляции, необходимо снижать тем-

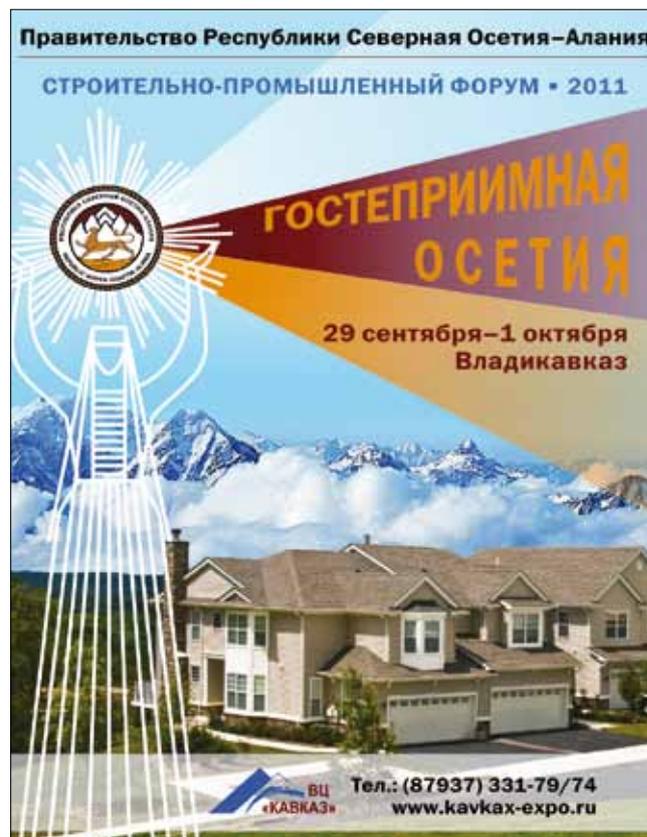
пературу на их поверхности в летнее время и повышать в зимнее. Добиться этого можно использованием дополнительных покрытий из другого теплоизоляционного материала, например древесных плит.

Полученные данные позволяют приблизить результаты ускоренных лабораторных испытаний к результатам старения в естественных условиях: 300 ч теплового старения пенопластов при 80°C соответствуют 2 годам их эксплуатации (южные районы) по физическим свойствам и 12 годам – по механическим.

Таким образом, становится возможным разработать методику прогнозирования долговечности пенопластов, работающих в условиях теплового старения.

Список литературы

1. Дементьев А.Г. Старение и долговечность пенопластов строительного назначения // Пластические массы. 1991. № 12. С. 45–49.
2. Мамонтов С.А., Киселева О.А. Влияние старения на структуру и свойства пенополистирола // Пластические массы. 2011. № 5. С.3–5.
3. Дементьев А.Г., Тараканов О.Г. Структура и свойства пенопластов. М.: Химия, 1983. 176 с.
4. Мамонтов С.А., Киселева О.А. Влияние старения на свойства пенополиуретана // Материалы международных академических чтений РААСН «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения». Курск, 2010. С. 85–87.
5. Ярцев В.П., Лысенко Н.В. Влияние температуры и нагрузки на долговечность пенополиуретана // Пластические массы. Синтез. Свойства. Переработка. Применение. 2006. № 2. С. 223–226.
6. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях М.: Химия, 1982. 220 с.
7. Мамонтов С.А., Киселева О.А. Влияние температуры на стойкость пенополистирола к тепловому старению // Сборник научных статей магистрантов. Направление «Строительство». Вып. 21. Тамбов, 2011. С. 23–25.



удк

В.Г. ЖИТУШКИН, канд. техн. наук (Краснодар)

Зависимость расчетного сопротивления древесины от изменчивости ее свойств в дереве

Ствол дерева по высоте делится на три зоны (рис. 1): нижнюю I, где имеются глубоко заросшие более мелкие сучки; среднюю II, где располагаются преимущественно открытые (торчащие) мертвые сучки, и зону живой кроны III. Наиболее ценная, бессучковая древесина расположена в периферических слоях нижней (комлевой) зоны ствола.

Ствол поваленного дерева, опиленный от корневой части и очищенный от сучков и называемый хлыстом, делится на деловую и дровяную части (рис. 2).

Плотность древесины сосны и березы увеличивается от сердцевины к коре (рис. 3) и по высоте ствола (рис. 4).

Прочность древесины связывается с плотностью корреляционным уравнением (без больших погрешностей) прямой линии [4]. Для древесины сосны при влажности 15% зависимость прочности от плотности имеет вид:

$$\sigma_{сж} = 0,11\rho_{15} - 10,5; \quad (1)$$

$$\sigma_{изг} = 0,2\rho_{15} - 19,5, \quad (2)$$

где $\sigma_{сж}$, $\sigma_{изг}$ – предел прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе соответственно, МПа; ρ – плотность древесины, кг/м³.

По данным ЦНИИМОД [5], для сосновых и еловых пиломатериалов при влажности 11–14% между модулем упругости и пределом прочности существует зависимость, выражаемая уравнением:

$$\sigma_{изг} = 5,5 E - 9, \quad (3)$$

где E – модуль упругости, ГПа; $\sigma_{изг}$ – предел прочности при изгибе, МПа.

Из графика рис. 6.5 из [6] выводится формула зависимости предела прочности древесины при изгибе от модуля упругости:

$$\sigma_{изг} = 0,0058 E - 9,64. \quad (4)$$

Из формулы (4) получаем:

$$E = 172,41 \sigma_{изг} + 1662. \quad (5)$$

Анализ зависимости плотности древесины сосны и березы от зоны ствола (по высоте ствола), прочности древесины от ее плотности, модуля упругости от прочности показывает, что упругие и механические свойства древесины в нижней части ствола (I зона) выше на 10–15%, чем в средней части (II зона).

Пиломатериалы из средней и нижней (комлевой) зон ствола сосны или березы при испытании на изгиб (сжатие, растяжение) будут прочнее и жестче соответственно на 10 и 20% пиломатериала из верхней (вершинной) части при одинаковой сортности.

Проведение экспериментальных исследований с учетом положений, изложенных в [7], позволит уточнить численные значения расчетного сопротивления, модуля упругости и форму эпюры напряжений в нагруженном состоянии древесины сосны и березы.

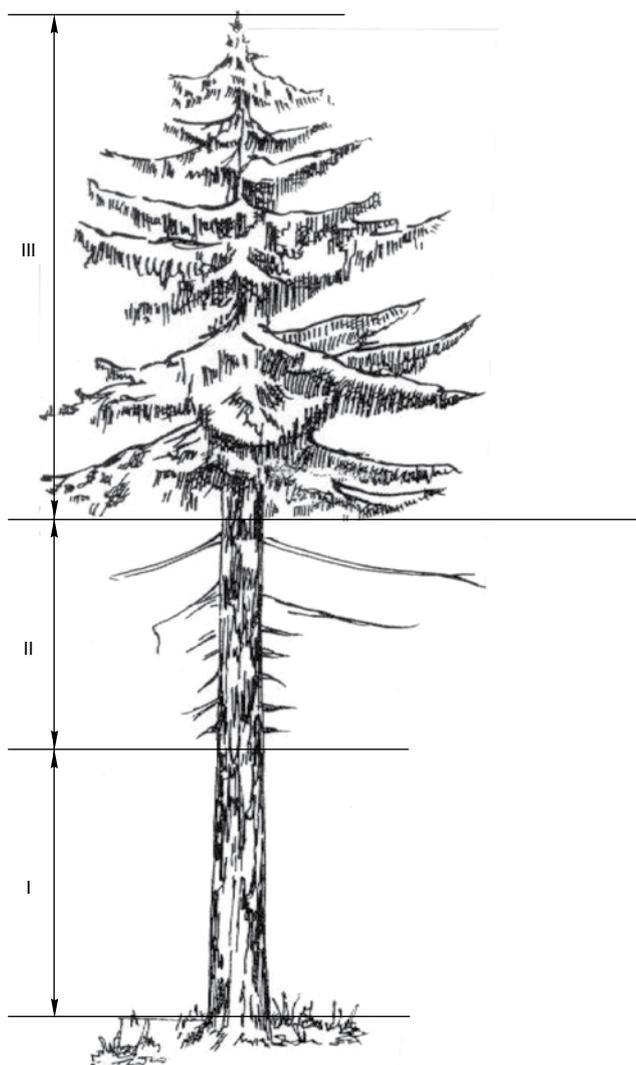


Рис. 1. Разнокачественные (по сучкам) зоны ствола: I – зона без сучков; II – зона с несросшимися сучками; III – зона со сросшимися сучками



Рис. 2. Схема разделения древесного ствола на сортименты: а – деление ствола на деловую и дровяную части; б – деление деловой части на отдельные сортименты; в – продольный разрез сортиментов, получаемых из одного ствола; 1 – комлевая часть; 2 – срединная часть; 3 – вершинная часть; 4 – вершинка

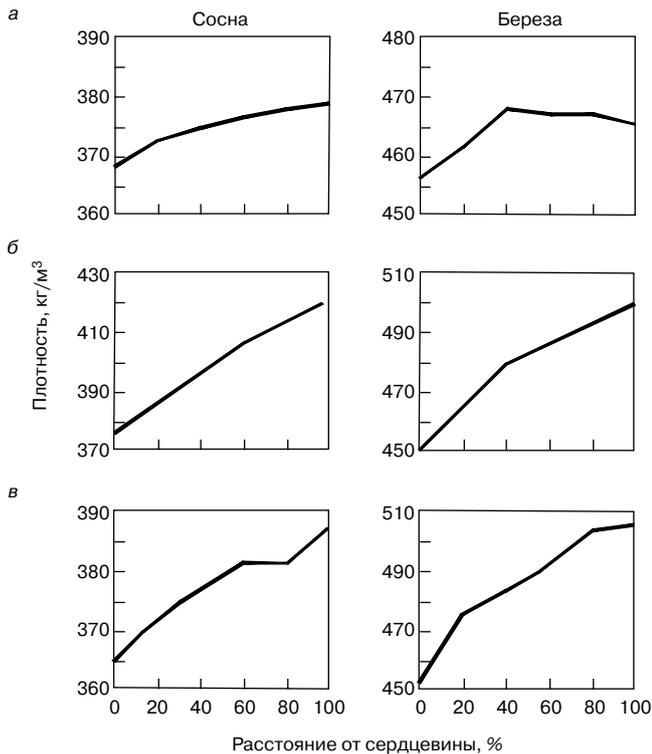


Рис. 3. Изменение плотности древесины по радиусу ствола сосны и березы [3]: а – верхняя часть ствола; б – средняя; в – комлевая

Для пиломатериалов из комлевой части (I зоны) ствола древесины сосны и березы расчетное сопротивление на сжатие и изгиб, а также модуль упругости согласно СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции» могут быть увеличены на 15–20%.

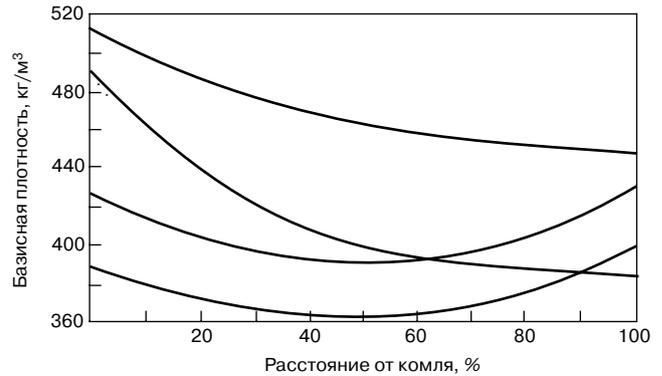


Рис. 4. Изменение плотности древесины по высоте ствола [3]: 1 – сосна; 2 – ель; 3 – береза; 4 – осина

Ключевые слова: древесина, модуль упругости, плотность, прочность.

Список литературы

1. Вакин А.Т., Полубояринов О.И., Соловьев В.А. Пороки древесины. Изд. 2-е, перераб. и доп.. М: Лесн. промышленность, 1980. 111 с.
2. Григорьев М.А. Материаловедение для столяров и плотников. М: Высш. школа, 1972. 174 с.
3. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М: Лесн. промышленность, 1976. 160 с.
4. Перельгин Л.М. Древесиноведение. Изд. 2-е, перераб. и доп. Б.Н. Уголевым. М: Лесн. промышленность, 1969. 316 с.
5. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М: Лесн. промышленность, 1986. 366 с.
6. Справочное руководство по древесине / Пер. с англ. М: Лесн. промышленность, 1979. 544 с.
7. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М: Лесн. промышленность, 1989. 293 с.

С.Н. АВЕЛИЧЕВА, канд. сельскохозяйств. наук, Л.А. СЕРЕБРЯКОВА, д-р техн. наук
Дальневосточный федеральный университет (Владивосток)

Товарные свойства древесины, окрашенной экстрактом ореха маньчжурского

Древесина – один из наиболее широко распространенных материалов, имеет многовековой опыт применения в жилищном строительстве, производстве мебели и других отраслях народного хозяйства.

Основные преимущества древесины как строительного материала: самовосстанавливаемость ресурсов, экологическая безопасность применения, легкая обрабатываемость, гвоздимость, возможность использования отходов в производстве плитных материалов.

Рост благосостояния людей и большой размах жилищного строительства вызвали значительное увеличение спроса населения на древесные материалы и одновременно повышение требований к их качеству.

Одним из показателей древесных материалов является внешний вид, в частности качество отделки. В технологии отделки большое значение придается прозрачному крашению древесины (без вуализации текстуры).

Основными требованиями, предъявляемыми к окрашенным поверхностям древесных материалов, являются: равномерная окраска по тону и цвету, отсутствие пятнистых и непрокрашенных участков, достаточная светопрочность.

Крашение древесины – это совокупность сложных физико-химических процессов, в результате которых древесина приобретает определенный цвет, выравнивается неоднородность ее естественной окраски, проявляется и обогащается текстура.

В зависимости от заданной глубины проникновения красителей в древесину применяют два вида крашения – поверхностное и глубокое (сквозная пропитка). Оба вида отличаются друг от друга спецификой технологических процессов, величиной и состоянием применяемого сырья, характером протекающих процессов. Однако основа процесса крашения у них одинакова и в общих чертах заключается в осуществлении следующих фаз: проникновение красителя из красильной ванны к поверхности древесины; адсорбирование (поглощение) красителей внешней поверхностью древесины; проникновение красителя во внутренние слои; закрепление частиц красителя возникающими силами межмолекулярной связи.

В работе применяли поверхностное крашение, так как оно отличается простотой и кратковременностью осуществления, относительно высокой производительностью,

применением несложного и недорогого оборудования, пригодностью почти для всех пород древесины [1].

В качестве красящего вещества использовали экстракт околоплодника ореха маньчжурского, который является экологически чистым натуральным продуктом в сравнении с распространенными химическими красителями для окрашивания древесины. Ресурсы этого вида (*Juglans manshurica Maxim*) в южных районах Дальнего Востока крупнейшие в мире [2]. Аналогом ореха маньчжурского является орех грецкий, распространенный в южных районах России и обладающий сходным красящим действием. Красящее вещество юглон – $C_{10}H_6O_3$ (5-окси-1,4 нафтохинон, входящий в группу нафтохинонов, который относится к изоциклическим соединениям). Также в орехе обнаружены восстановленные формы производных юглона и нафтазарина в виде гликозидов, в том числе с остатками ароматических полигидроксилированных кислот, полифенолов и полигидрокси нафталинов. Эти соединения практически не окрашены, но под действием окислителей, например кислорода, они легко окисляются, образуя окрашенные продукты [3].

Красящая способность рассматриваемых соединений объясняется присутствием в их молекулах хромофорных групп с ненасыщенными двойными связями $O=C-CH=CH-C=O$. Помимо указанных хромофорных групп молекулы юглона, его производных и нафтазарина содержат ауксохромные группы, которые усиливают окраску и сообщают красителю способность присоединяться к окрашиваемым материалам.

Для изучения красящей способности околоплодника ореха маньчжурского окрашивали торцевые и тангентальные срезы клена, березы, липы, осины и ясеня, имеющие белый цвет древесины. Крашение проводили окунанием, концентрация красильного раствора 50г/л. Красящий раствор готовили из высушенного и размолотого в порошок ореха маньчжурского. Режимы и схема крашения образцов приведены в табл. 1. Глубину проникновения красителя в срезы древесины определяли с помощью оптического микроскопа 2–20 с точностью до 0,01 мм.

Как следует из табл. 2, наиболее глубоко краситель проникает в древесину липы и осины, затем в порядке убывания – клена, ясеня и березы даурской, что,

Таблица 1

Режим крашения	Вариант режима					
	1	2	3	4	5	6
	Срез древесины					
	торцевой	тангенциальный	торцевой	тангенциальный	торцевой	тангенциальный
Температура, °С	20	20	60	60	20	60
Время выдержки, с	240	240	240	240	240	240
Предварительная обработка паром	-	-	-	-	+	+

Примечание: 5–6-й варианты перед крашением обработаны паром в течение 600 с.

Таблица 2

Номера вариантов	Виды древесины				
	Клен	Береза даурская	Липа	Осина	Ясень
1	4,25	4,88	8	7,6	3,8
2	1,38	3	6,75	6,2	2,5
3	13,25	13,75	18	16	12,8
4	11,25	11,75	15	14,5	10,9
5	19,8	18,1	24,25	23,75	20,88
6	16,2	15	20,88	20	14,7

Таблица 3

Варианты	Виды древесины				
	Клен	Береза	Липа	Осина	Ясень
1	80	40	36	38	80
3	89	47	42	40	85
5	100	57	50	48	98

видимому, можно объяснить плотностью древесины, которая составляет для этих видов соответственно 495, 490, 655, 690 и 725 кг/м³, а также особенностями элементов структуры древесины, которые весьма изменчивы и неоднородны даже в пределах одного вида дерева [3]. Также необходимо отметить, что в торцевые срезы краситель проникает глубже, чем в тангенциальные, так как проникновением красящего раствора происходит вдоль среза, т. е. по полостям клеток, сосудам и сердцевинным лучам.

Из данных табл. 2 также видно, что глубже краситель проникает в древесину, предварительно обработанную паром. Такое увеличение объясняется тем, что пар удаляет воздух из полостей и сосудов древесины и заполнение этих пор красящим веществом возрастает.

Для оценки свойств древесины, окрашенной водным экстрактом околоплодника ореха маньчжурского, были определены ее эстетические свойства и светостойкость. Эстетические свойства (цвет, блеск) определяли по 100-балльной шкале семью специалистами фабрики «Примф-лес» (Владивосток) экспертным методом. Степень согласованности экспертов достаточная, о чем свидетельствует рассчитанное значение коэффициента конкордации ($W=0,758$). В связи с тем, что тангенциальные срезы имели неоднородную окраску, оценке подвергались только торцевые срезы. Экспертная оценка эстетических свойств торцевых срезов окрашенных образцов приведена в табл. 3.

Как видно из табл. 3, высокую оценку (80–100 баллов) получили образцы древесины клена и ясеня. Древесина клена получила темно-бежевую окраску, на которой хорошо видны сердцевинные лучи розовато-бежевого цвета с сильным блеском.

Древесина ясеня имела хорошо заметные годовичные слои, которые приобрели более интенсивную окраску, чем другие слои древесины, и эти более темные круги на общем бежевом фоне создали привлекательный вид.

Образцы березы, липы и осины получили почти одинаковые оценки (36–57 баллов). Они имели коричневый цвет, но наличие плохо различимых годовичных и сердцевинных лучей придало текстуре древесины невыразительный вид.

Светостойкость окраски определяли путем инсоляции окрашенных образцов согласно стандартной методике, используя 5-балльную шкалу оценки. Испытанию подвергались образцы в количестве 10, из них 5 образцов являлись контрольными, а 5 образцов подвергались инсоляции в течение 28 сут, в феврале, так как, по дан-

ным Управления по гидрометеорологии Приморского края, на этот месяц приходится наибольшая солнечная радиация. Установлено, что светостойкость окрашенных образцов липы и осины составила 4, а остальных образцов 3 балла. Хорошая светостойкость липы и осины обусловлена повышенной глубиной проникновения красителя.

В заключение необходимо отметить:

- глубина проникновения красителя из околоплодника ореха маньчжурского в торцевые срезы древесины интенсивнее, чем в тангенциальные, а также у образцов, предварительно обработанных паром и имеющих низкую плотность древесины;
- эстетические свойства окрашенных образцов обусловлены особенностями строения древесины;
- светопрочность окрашенных образцов достаточно высокая и обусловлена глубиной проникновения красителя.

Таким образом, натуральный краситель, полученный из экстракта околоплодника ореха маньчжурского, может быть использован в качестве красителя для различных видов древесины, используемой в жилищном строительстве на Дальнем Востоке и других регионах России.

Список литературы

1. Кушнирская М.Ц. Крашение древесины в производстве мебели. М.: Лесная промышленность, 1973. 90 с.
2. Берлова Н.В., Ляпустин С.Н., Авеличева С.Н. Маньчжурский орех: характеристика и перспективы использования. Владивосток: ВФРТА, 2008. 92 с.
3. Авеличева С.Н., Берлова Н.В. Маньчжурский орех как источник сырья непродовольственных товаров. Владивосток: ТГЭУ, 2009. 100 с.

19 – 22 ОКТЯБРЯ 2011, г. СОЧИ
Павильоны у Морпорта

SOCHI BUILD
X МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

- АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, БЛАГОУСТРОЙСТВО
- СПОРТИВНЫЕ ОБЪЕКТЫ - ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ОСНАЩЕНИЕ
- КЛИМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ТЕПЛО-, ГАЗО-, ВОДОСНАБЖЕНИЕ
- ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
- СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, ТОННЕЛИ
- ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА, ЭКСТЕРЬЕРА, ДЕКОР
- ЗАГОРОДНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ, ЛАНДШАФТНЫЙ ДИЗАЙН
- ЭКОЛОГИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ

При поддержке:

Выставочная компания
«Сочи-Экспо ТПП г. Сочи»
Тел./факс: (8622) 648-700, 642-333,
647-555, (495) 745-77-09
e-mail: stroyka@sochi-expo.ru
www.sochi-expo.ru

XIII Международный конгресс по химии цемента

3–8 июля 2011 г. в Мадриде (Испания) состоялся XIII Международный конгресс по химии цемента, научная программа которого подготовлена Международным научным комитетом, в состав которого входит 31 представитель из разных стран.

На конгрессе присутствовало 964 чел. из 68 стран с 5 континентов. Основное количество участников (49%) из европейских стран – Испании, Германии, Италии, Польши, Чехии, Франции, Швейцарии и др. Около 40% участников – представители стран Латинской Америки, США, Японии, Китая. Остальные – представители Индии, африканских стран, Австралии. Российскую Федерацию на конгрессе представляла делегация, в состав которой входили технический директор ОАО «Подольск-Цемент» И.Ю. Бурлов (Москва), доктора техн. наук Ю.Р. Кривобородов и Т.В. Кузнецова (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва), д-р техн. наук С.В. Самченко (Московская Государственная академия коммунального хозяйства и строительства), д-р техн. наук Г.И. Яковлев (Ижевский государственный технический университет, Республика Удмуртия), Р.З. Рахимов и Н.Р. Рахимова (Казанский архитектурно-строительный университет, Республика Татарстан), А. Брыков (Санкт-Петербургский Государственный технический университет).

Ежедневно работа конгресса начиналась с основных докладов по каждой из вышеперечисленных тем, затем следовали короткие презентации и обсуждения докладов. Затем работа продолжалась на секциях. Часть информации была представлена в виде постеров (стендовых докладов), для которых были выделены две специальные сессии. Постеры демонстрировались в электронном виде на десяти экранах в течение всей работы конгресса и можно было в любой момент ознакомиться с содержанием представленной авторами работы.

Программа XIII Международного конгресса по химии цемента, по мнению многих специалистов и организаторов, отличалась от предыдущих:

- впервые в истории проведения конгресса организованы предконгрессные специальные курсы лекций, тематика которых посвящена свойствам и применению цементирующих материалов, исследованию гидратации цемента, применяемым методам анализа процессов получения вяжущих и их гидратации, коррозии бетона и арматуры. Для чтения лекций были приглашены ведущие ученые в области химии цемента и бетона. Эти курсы в основном направлены на освещение деталей исследовательской работы, методов исследований и направлений работы в будущем. Цель курсов – повысить научный уровень специалистов, в первую очередь – молодых ученых, с тем чтобы, возвращаясь в свои организации, они смогли высказывать новые идеи, разрабатывать рабочие планы последующих исследований;
- организация дискуссионных сессий (круглых столов), предназначенных для более широкого обсуждения научных проблем и достижений, обмена мнениями по всем научным направлениям. Такая форма дискуссий является наиболее традиционной для научной общественности Испании;
- третьей особенностью конгресса является публикация основных докладов в «Cement and Concrete Research», который неоспоримо является основным международным журналом в области химии цемента.

На конгрессе рассматривалось 9 основных направлений.

Химия и техника процесса производства цемента. По данному направлению представлены два пленарных доклада, 6 кратких докладов и 7 секционных докладов. В них в основном рассматривались результаты использования отходов различных отраслей промышленности в качестве сырьевых компонентов, катализаторов процесса клинкерообразования, альтернативного топлива.

Устойчивое производство. Заслушано 2 пленарных, 15 кратких и 41 секционный доклад. Они содержали в основном результаты исследований свойств многокомпонентных, смешанных цементов с различными природными минеральными и специально подготовленными материалами. В большинстве докладов отмечено, что чистоклинкерный цемент без добавок следует рассматривать как цемент для специальных целей. Большое внимание уделено цементам с добавкой обычного и доломитизированного известняка.

Известно, что работы по использованию известняка в качестве добавки к цементу широко проводилась ранее в России под руководством Ю.М. Бутта и В.В. Тимашева, а стандартом на портландцемент и шлакопортландцемент вплоть до 1967 г. разрешалось введение в состав цемента 10 мас. % известняка.

Новое направление по способу производства цемента доложено техническим директором ОАО «Подольск-Цемент» канд. техн. наук И.Ю. Бурловым. В его докладе было показано, что использование плазменной печи позволяет получать различную продукцию: плавные портландцементные, глиноземистые клинкеры, мономинеральные цементы, клинкеры различного состава с одновременным получением сплавов металлов. Предложенная технология имеет ряд преимуществ:

- низкие капитальные затраты и металлоемкость на единицу производимой продукции;
- низкие строительные затраты на единицу производимого цемента;
- сравнительно небольшая площадь предприятия;
- полная автоматизация предприятия;
- экологическая чистота предприятия и полная безотходность;
- мобильность технологического оборудования (собрали – разобрали), так как цементный завод имеет модульную структуру без капитальных сооружений;
- удельные энергозатраты сопоставимы с существующими при мокром способе производства цемента.

Новые цементирующие матрицы. Представлено 2 пленарных доклада, 11 кратких докладов, 40 секционных докладов. Основное внимание уделялось щелочной активации различных отходов и получению на их основе вяжущих материалов. В качестве активаторов рассматривались натриевые, иногда калиевые, щелочи, а в качестве обрабатываемого материала – шлаки, золы-уноса, шлакозольные смеси, метакаолины, микрокремнезем в сочетании с пластификаторами.

Это направление ранее было хорошо изучено профессором В.Д. Глуховским (Украина) и его школой. Доклады, представленные на 13 Международном конгрессе по химии цемента, можно считать не только повторением и уточнением ранее проведенных исследований в Советском Союзе.



Выступление в дискуссии проф. Ф. Глассера (Шотландия)



Вопросы к докладчикам задает проф. А.Чаттерджи (Индия)



Стендовый доклад российской делегации (Т.В. Кузнецова, С.В. Самченко)

Ряд сообщений посвящен получению и свойствам сульфоломинируемых цементов, которые в свое время также были разработаны в России. В 1970–1974 г. выпускались опытно-промышленные партии, а с 1975 г. организовано промышленное производство указанного цемента на Подольском цементном заводе.

Гидратация и микроструктура. В представленных докладах (2 пленарных, 14 кратких, 54 секционных) в основном демонстрировались физико-химические методы анализа процессов гидратации отдельных фаз портландцемента и их сочетаний, в том числе: рентгенофазовый анализ, ядерно-магнитный резонанс, микрокалориметрия, радиационный синхротрон, спектральные методы и т. д.

Следует отметить, что зарубежные коллеги при исследовании используют новейшее оборудование, современные методики, чего отечественным исследователям, к сожалению, не хватает.

Отдельно была организована секция по теме: «**Гидратация и термодинамика**», на которой представлены результаты исследований системы гидросиликатов, алюминатов, ферритов кальция, образующихся при гидратации чистого портландцемента и в присутствии различных добавок.

Отдельный интерес вызвала тема «**Моделирование**», рассматривались возможности компьютерного моделирования гидратации и твердения цементного камня (бетона), их поведение и свойства как в ранние сроки, так и при длительном твердении. Отмечалась важность создания экоцементов и экобетонов с использованием различных химических добавок.

По теме «**Свойства свежего и затвердевшего бетона**» представлено 2 пленарных и 5 устных докладов, в которых рассматривались в основном возможности улучшения свойств бетона с применением различных добавок, а именно: получение самовыравнивающихся смесей, высокоплотных бетонов, бетонов для повышенных температур, гидрофобизация бетона, влияние типа цемента и условий твердения на прочность бетона при изгибе.

Большое внимание участников конгресса было уделено теме «**Долговечность бетона**»: 2 пленарных, 10 кратких и 34 секционных доклада охватывали исследования по взаимодействию цементного камня с заполнителем, их совместимость; влияние различных добавок при приготовлении бетонной смеси на долговечность затвердевшего бетона; воздействие щелочей на заполнитель; водо- и газопроницаемость бетона, методы их определения; прогнозирование свойств бетона и его долговечность на основе моделирования процессов твердения в различных условиях; распределение пор; состав жидкости в порах; влияние различных добавок на состав жидкой фазы в порах; изменение pH раствора; образование таумасита, его стабильности, влияния на долговечность бетона, сульфатную коррозию.



Технический директор ОАО «ПодольскЦемент» канд. техн. наук И.Ю. Бурлов рассказал о преимуществах использования плазменной печи

Кроме двух пленарных докладов по теме «**Стандартизация**» состоялся круглый стол, в котором участвовали ведущие специалисты Испании и других стран в этой области. Доклады и сообщения касались истории развития стандартов. Рассматривались стандарты Европейского сообщества (EN), американский (ASTM), другие региональные стандарты. Главное внимание уделено вопросам точности испытаний, воспроизводимости результатов, изменениям в стандартах, необходимости дальнейших исследований, особенно в области специальных цементов для совершенствования стандартизации продукции.

Во время работы конгресса состоялись еще три сессии круглых столов: «О роли научных журналов в химии цемента»; «О бетоне для необычных конструкций»; «О последствиях изменения климата».

Подробный анализ выступлений позволил сделать следующие выводы: основными тенденциями развития исследований в области строительного материаловедения во всех странах является создание малоэнергоемких процессов; разработка смешанных и специальных цементов; использование альтернативного топлива; создание вяжущих, активированных щелочами, как альтернатива портландцементу. Существенным отличием данного конгресса от предыдущих является привлечение производителей цемента к научным разработкам: научно-технические центры различных фирм имеют хорошо финансируемые программы, государственную поддержку исследований по разработке новых видов вяжущих, моделированию процессов гидратации и твердения цементного камня с целью прогнозирования долговечности бетона, совершенствование методов исследований.

Следует отметить, что многие проблемы, обсуждаемые на конгрессе были решены учеными СССР уже в 1970-х гг. К таким разработкам относятся: производство смешанных многокомпонентных цементов, использование зол, выпуск шлакопортландцемента, использование известняка как добавки к портландцементу, создание сульфоломинируемых цементов, при производстве которых выделяется меньшее количество CO₂.

Понимая неизбежность модернизации цементной промышленности, Научно-аналитический центр ОАО «Подольск–Цемент» совместно с другими ведущими научными организациями нашей страны продолжает исследования по созданию новых эффективных видов цемента, используя плазменную экологически чистую технологию получения клинкера.

И.Р. Кривобородов, д-р техн. наук,
С.В. Самченко, д-р техн. наук,
И.Ю. Бурлов, канд. техн. наук



Материалы для дорожного строительства

III научно-практическая конференция

29 ноября 2011 г.

Москва

Тематика конференции:

Материалы для устройства оснований (песок, щебень и др.)

•
Специальные бетоны для строительства дорог

•
Геотекстиль, георешетки

•
Асфальтобетоны (битум, наполнители, добавки, модификаторы)

•
Материалы для обустройства, эксплуатации и ремонта дорог
(материалы для дорожной разметки, специальные покрытия,
антигололедные препараты, посыпки и др.)

•
Оборудование для производства материалов для дорожного строительства,
ведения дорожно-строительных работ
и эксплуатации дорог

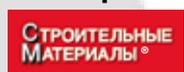
•
Наука практике дорожного строительства



К проведению конференции будет выпущен тематический номер журнала «Строительные материалы»[®] №10–2011, включающий пленарные доклады. Предоставление текстов докладов и иллюстраций до 01.10.2011

Место проведения конференции: Москва, Ленинградский проспект, д. 64, МАДИ, конференц-зал нового корпуса

Организаторы конференции:



Федеральное дорожное агентство «РОСАВТОДОР»

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

журнал «Строительные материалы»[®]

Научные руководители проекта – Быстров Николай Викторович, Котлярский Эдуард Владимирович, Козина Виктория Леонидовна

Менеджер проекта – Юмашева Тамара Алексеевна

Телефон/факс: (499) 976-22-08, 976-20-36, телефон: (926) 574-04-31

E-mail: mail@rifsm.ru, umasheva_ta@mail.ru <http://www.rifsm.ru>

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3



приглашает принять участие в работе

МЕЖДУНАРОДНОГО СЕМИНАРА

«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ»

1–2 ноября 2011 г.

Минск, Республика Беларусь

Тематика семинара

- Мировой уровень качества извести. Современные требования к предприятиям производства извести. Опыт зарубежных предприятий.
- Рынок извести на фоне выхода из кризиса.
- Оригинальные технологии производства тонкой извести из обводненного мела.
- Обзор печей обжига зарубежных производителей.
- Варианты перевода печей мокрого способа на сухой и полусухой способ.
- Карбонатное сырье как основа для производства извести.
- Экология при производстве извести. Пылеочистка и утилизация отработанных газов.
- Технический аудит предприятия и инспекция печей.
- Альтернативные виды топлива.

В программе семинара запланирована экскурсия на ОАО «Красносельскстройматериалы» (Гродненская обл.), где реализована установка высокоскоростного обжига извести из мелового сырья конструкции НИИСМ.

Соорганизатор семинара – научно-технический и производственный журнал



Заявки на участие в семинаре направлять по телефону-факсу: +7 (499) 976-22-08, 976-20-36,
по электронной почте: mail@rifsm.ru

Менеджер проекта – Горегляд Светлана Юрьевна +7 (916) 123-98-29

Адрес оргкомитета: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3 Редакция журнала «Строительные материалы»®



Национальный исследовательский университет
Московский государственный строительный университет



Союз Производителей Сухих Строительных Смесей



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

- Министерства образования и науки РФ
- Министерства регионального развития РФ
- Правительства Москвы
- Правительства Московской области
- Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН)
- Федерального агентства специального строительства (Спецстрой РФ)
- ГК «Олимпстрой»
- Российского Союза строителей
- Ассоциации строителей России
- Ассоциации строительных вузов (АСВ)

проводят

ВТОРУЮ МЕЖДУНАРОДНУЮ КОНФЕРЕНЦИЮ

«РОССИЙСКИЕ ДНИ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ»

28 – 29 ноября 2011 г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, МГСУ, Актовый зал

Конференция посвящена 90-летию со дня основания МГСУ-МИСИ

Тематика конференции

- Основные тенденции в производстве ССС в России и мире
- Интеграция российских технологий на мировом уровне
- Строительный рынок в России и тенденции развития в мире
- Сравнение и развитие норм и методов контроля
- Пути расширения рынка ССС
- Включение тематики ССС в учебные программы российских вузов (для инженеров, консультантов и разработчиков)
- Воздействие на окружающую среду и преимущество рационального строительства
- Инновационные продукты (производство, упаковка и логистика ССС; механические/автоматические технологии применения; разработка состава раствора; исследования по специфическому применению ССС; улучшение качества; вяжущие растворы, наполнители, добавки)

Прямая трансляция конференции будет производиться через открытую сеть на 150 Российских вузов и 30 вузов стран СНГ членов АСВ и 280 саморегулируемых организаций строительного комплекса РФ.

В РАМКАХ КОНФЕРЕНЦИИ ПРОЙДЕТ ОТРАСЛЕВАЯ ВЫСТАВКА РОССИЙСКОЙ ИНДУСТРИИ ССС

Телефоны: ЦИРС МГСУ (499) 183-2856, 183-3356 СП ССС (812) 350-54-11, 703-10-19

E-mail: maria_ch@spsss.ru, expo@mgsu.ru, expo-1@mgsu.ru, expo-1@mail.ru

www.mgsu.ru, www.spsss.ru

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**«Мальцовский портландцемент»
ввел в эксплуатацию
новый электрофильтр**

На промплощадке ЗАО «Мальцовский портландцемент» (Брянская область) введен в эксплуатацию новый электрофильтр на вращающейся печи № 7. Строительство и ввод в эксплуатацию этого воздухоочистительного сооружения, выполненного по технологии французской фирмы «Альстом Пауэр Ставан», осуществлено в рамках комплексной программы модернизации предприятий «ЕВРОЦЕМЕНТ групп». Фильтр обеспечивает современные санитарные нормы выбросов, отличается надежностью, экономичностью и эффективно-

стью, которая достигает 99%. Затраты по его строительству составили около 250 млн р. Его запуск позволяет на 40% снизить содержание пыли в отходящих газах и обеспечивает уровень очистки, соответствующий европейским нормам экологической безопасности. За последние годы в реконструкцию ЗАО «Мальцовский портландцемент» холдингом «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» инвестировано около 1 млрд р. В целом инвестиции холдинга в строительство новых и реконструкцию существующих производств в период 2005–2011 гг. составили свыше 22 млрд р.

По материалам пресс-службы «ЕВРОЦЕМЕНТ групп»

Новое приобретение «Лафарж Россия»

Российское подразделение французской группы Lafarge, специализирующейся на производстве строительных материалов, завершило сделку по приобретению управляющего и производственного блоков холдинга «Карелнеруд».

«Карелнеруд» является одним из крупнейших производителей нерудных материалов в Северо-Западном регионе России, который осуществляет поставку продукции в северные и центральные районы страны. В состав холдинга входят три карьера по добыче щебня, которые производят около 2,7 млн м³ щебня в год. «Карелнеруд» находится в хорошем состоянии и полностью поддерживает возможность последующей модер-

низации. Начиная с лета 2008 г. на одном из карьеров действует новый завод по переработке и сортировке щебня. Этот завод был построен совместно с финской компанией Metso Minerals.

Компания Lafarge осуществляет деятельность в России с 1996 г. В настоящее время компании принадлежат два завода в России – в г. Воскресенске (Московская область) и в г. Коркино (Челябинская область). Помимо управления двумя цементными заводами компанией были приобретены лицензии на разработку месторождений известняка в Калужской и Ростовской областях, а также в Краснодарском крае.

По материалам ООО «Лафарж Эй энд Си»

Группа ТЕГОЛА строит завод

Компания TeMa S.r.l. (Technogies & Materials) (входит в состав TEGOLA GROUP), занимающаяся производством геосинтетических материалов, предназначенных для защиты и гидроизоляции строительных конструкций различного назначения, ведет строительство нового производственно-складского комплекса на севере Италии в г. Витторио-Венето. Строительство трехэтажного комплекса с подземным уровнем, состоящего из двух зданий общей площадью 14 тыс. м², планируется завершить к концу ноября 2011 г. Объем инвестиций в строительство объекта составил более 6 млн евро.

Крыша первого корпуса будет покрыта фотогальванической черепицей Тегосолар, что позволит значительно снизить затраты электроэнергии на функционирование объекта. Крыша будет вырабатывать электричество мощностью более 150 кВт. Выпуск черепицы

Тегосолар представляет собой результат сотрудничества компании Tegola и компании Uni-Solar.

Второе здание будет благоустроено зеленой кровлей и представит собой кровельную систему, сплошь покрытую живыми растениями, – сад на крыше площадью 2000 м², созданный с применением разработок компании ТеМа Грин Руф, широко используемых в Европе для создания зеленых зон в условиях дефицита пространства.

В ноябре на первом этаже двухэтажного корпуса планируется запуск новой линии по производству материала для систем дренажа и изоляции QDrain, применяемого для создания футбольных полей с искусственным травяным покрытием. Поставки продукции новой линии планируются в том числе и в Россию.

По материалам группы ТЕГОЛА

НОВЫЕ КНИГИ

Технология сухих строительных смесей

Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов

М.: Изд-во АСВ, 2011. 112 стр. Издание 2-е, дополненное.

Сформулированы понятия о сухих строительных смесях, дана их классификация и представлены области применения. Обобщены требования к исходным компонентам. Рассмотрены новые виды композиционных вяжущих веществ и модификаторы строительных растворов. Представлены способы определения

составов строительных растворов, даны примеры рецептур сухих строительных смесей различного назначения, методы контроля показателей качества. Приведены технологические схемы производства сухих строительных смесей и технологии производства работ с их использованием.

Учебное пособие предназначено для студентов строительных специальностей, аспирантов, научных и инженерно-технических работников, а также для широкого круга читателей, занимающихся использованием или реализацией сухих строительных смесей.

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

Динамика рынка цемента в июле

В июле 2011 г. объем отгрузок цемента железнодорожным транспортом на российский рынок практически не изменился по сравнению с июнем текущего года и составил 3,7 млн т.

Продолжает усиливаться монополизация региональных цементных рынков. В четырех из восьми федеральных округов доля крупнейшего игрока в поставках цемента железнодорожным транспортом более 50%, в двух — более 70%.

В Центральном, Северо-Западном и Северокавказском регионах доля «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» составляет от 60 до 80%; в Южном федеральном округе доля «Новоросцемента» около 50%; в Сибирском регионе доля «Сибирского цемента» составляет 53%; на Дальнем Востоке доля «Востокцемента» — 95%.

Структура перевозок по видам вагонов также осталась прежней: максимум приходится на специализированные вагоны хоппер-цементовозы — около 70%, в

крытых вагонах и полувагонах перевозится 21% объема и 9% — в зерновозах и прочих вагонах.

В июле 2011 г. существенное увеличение объемов отгрузки цемента по сравнению с июнем наблюдалось на заводах «Сибирского цемента» — +51 тыс. т (+16%) до 361 тыс. т; United Cement Group — +27 тыс. т (+61%) до 71 тыс. т; Heidelberg Cement — +24 тыс. т (+42%) до 81 тыс. т; «Новоросцемент» — +16 тыс. т (+7%) до 233 тыс. т. Увеличились объемы импортного цемента, поставляемого железнодорожным транспортом, — +15 тыс. т (+18%) до 98 тыс. т.

Существенное падение отгрузок цемента железнодорожным транспортом в июле показали такие компании, как «Мордовцемент» — 92 тыс. т (-32%) до 193 тыс. т; «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» — 33 тыс. т (-2%) до 1 531 тыс. т и Dycerhoff — 15 тыс. т (-14%) до 96 тыс. т. Снизились объемы экспорта ж/д транспортом — 6 тыс. т (-5%) до 107 тыс. т.

По материалам инвестиционной компании «СМПро»

ИССЛЕДОВАНИЯ РЫНКОВ

Рынок дорожной и строительной техники вырастет

На рынке строительной и дорожной техники, демонстрировавшем стабильный рост до 2008 г., последние несколько лет происходят значительные изменения. Производство техники в России начиная со второй половины 2008 г. снизилось более чем в четыре раза к концу 2009 г. В посткризисный период, в основном благодаря увеличению закупок товара из-за границы, ситуация немного выравнивалась и прирост за 2010 г. составил 55,5%.

Объем импорта также потерпел кризисное снижение в 2009 г. и отметил рост закупок в 2010 г., но в целом перемены не изменили тенденции к увеличению доли импортной продукции на рынке России — по данным за 2010 г., доля импортной продукции составила почти 73%. В то же время изменилась и структура импорта: организации были вынуждены закупать продук-

цию более низкой стоимости, производства менее известных брендов.

С 2009 г. также происходит снижение объема парка строительных и дорожных машин (имеющихся в наличии в профильных организациях). Однако за счет неизменно высокого спроса на недвижимость, роста объемов строительства и дорожных работ в ближайшее время объем парка начнет восстанавливаться.

В целом прогнозы относительно отрасли дорожной и строительной техники положительные, сотрудничество с данной категорией считается эффективным и перспективным. К 2013 г. прогнозируется рост рынка до 149% относительно 2010 г. за счет увеличивающихся объемов импорта в Россию и развития отечественного производства. Единственный параметр, неизменно снижающийся на протяжении всего наблюдаемого периода, — экспорт техники из России. Ежегодное снижение объемов экспорта составляет 40–50%.

Рынок ДВП демонстрирует рост

Древесно-волоконистые плиты в 2010 г. пользовались большим спросом, чем в 2009 г. Их потребление в натуральном выражении на тысячу человек увеличилось на 22,3%. Рост спроса на ДВП отмечался и в первом квартале 2011 г. Наибольшим спросом в России пользуются древесно-волоконистые плиты без отделки поверхности, а также не обладающие какими-либо специальными свойствами. На плиты такого типа приходится более 90% всего объема производства ДВП в России.

Полностью изменилась динамика темпов прироста объема производства древесно-волоконистых плит: если в 2009 г. во всех федеральных округах наблюдалось снижение производства (суммарный объем производства по России в 2009 г. снизился на 22,2% по сравнению с показателем 2008 г.), то в 2010 г. производители выпустили на 6,3% больше ДВП, чем в предыдущем. Рост производства продолжился и в первом квартале 2011 г.

Тройка компаний-лидеров 2008 г. сохранила за собой ведущие позиции и в 2009 г. Первое место по объему производства древесно-волоконистых плит занимало ООО «Кроношпан» (в 2009 г. его доля увеличилась до 19,6%). Второе место принадлежало ООО «Кроностар»,

третье — ООО «Илим Братск Деревообрабатывающий комбинат».

В первом квартале 2011 г. вследствие бурного роста производства доля импортных древесно-волоконистых плит на российском рынке немного снизилась по сравнению с уровнем 2010 г.

ЛПК в отличие от большинства отраслей является экспортоориентированной отраслью. Однако в 2010 г. наблюдалось уменьшение объема поставок российских ДВП в другие страны более чем на 20%. Ситуация 2010 г. получила развитие в первом квартале 2011 г., когда произошло снижение почти на 30% по отношению к аналогичному периоду 2010 г.

Резкое сокращение рынка ДВП в 2009 г. привело к тому, что в 2010 г., несмотря на увеличение объема рынка, не были достигнуты докризисные показатели. В первом квартале 2011 г. продолжился тренд 2010 г. рынок ДВП вырос более чем на 1/3.

По прогнозам после бурного роста в 2010–2011 гг.: рынок ДВП замедлит темпы прироста, и в 2012–2014 гг. они будут заметно ниже.

По материалам «РБК. Исследования рынков»

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до 4-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желателен представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи и не содержать перечень всего ранее опубликованного автором, что перегружает объем статьи и часто является элементом саморекламы.

Кроме того, статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий. Статьи, направляемые в редакцию журнала «Строительные материалы»®, должны соответствовать следующим требованиям:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т.п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); распечаткой, лично подписанной авторами; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языке; подтверждением, что статья предназначена для публикации в группе журналов «Строительные материалы», ранее нигде не публиковалась, и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 году в журнале «Строительные материалы» был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомится с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf



Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства www.rifsm.ru/page/7