

0-775875

На правах рукописи



ПЕЧЕНКИНА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА

**ПРЕССОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ДВУВОДНОГО ГИПСА
И СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Казань – 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор
Недосеко Игорь Вадимович

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор
Коренькова Софья Федоровна
- кандидат технических наук, доцент
Халиуллин Марат Ильсурович

Ведущая организация: ООО СП «Интерстройсервис» (г. Уфа)

Защита состоится 28 апреля 2009г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.077.01 при Казанском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая 1, в ауд. 3-203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КазГАСУ. Автореферат диссертации размещен на официальном сайте университета; <http://www.kgasu.ru>

Автореферат разослан «27» марта 2009г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000508047

Учёный секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Л.А. Абдрахманова'.

Л.А. Абдрахманова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Одной из актуальных задач современного строительства, в рамках национального проекта «Доступное и комфортное жильё», является необходимость увеличения производства экологически чистых строительных материалов, обеспечивающих снижение материалоемкости, энергоёмкости, трудоёмкости строительства, а также стоимости зданий и сооружений. Однако, по-прежнему, в производстве строительных изделий и конструкций основным вяжущим является клинкерный цемент, для производства силикатных стеновых материалов – известь. Технологические процессы получения цемента и извести достаточно дороги и энергоёмки, требуют больших капитальных затрат, в связи с чем важной задачей остается поиск дешевых строительных материалов и энергосберегающих технологий их производства.

Среди строительных материалов достойное место занимают гипсовые вяжущие и изделия на их основе, которые характеризуются хорошей огнестойкостью, звукоизолирующей способностью, гигиеничностью, широким диапазоном прочностных характеристик и малой теплопроводностью. При этом удельные капитальные вложения в производство гипсовых вяжущих в 2 раза, а энергозатраты в 4 раза ниже, чем на получение клинкерных цементов. Кроме того, гипсовые стеновые изделия, по сравнению с другими материалами (кирпич, железобетон) отличаются наименьшей массой, например, вес одного квадратного метра жилья из кирпича составляет 2,5 тонн, железобетона – 2 т., а из гипса, с привязкой к одно-двухэтажным жилым домам с несущими стенами из гипсоблоков - менее тонны.

Однако за последние десятилетия производство гипсовых строительных материалов и изделий развивается низкими темпами и, несмотря на некоторый рост потребления гипсовых отделочных материалов в последние годы (преимущественно зарубежного производства), эта негативная тенденция продолжает действовать. Следует отметить, что кроме общих причин объективного и субъективного характера, связанных в прошлом с заниженными ценами на энергоносители и гипертрофированным развитием сборного железобетона, в практике отечественного и, частично, зарубежного производства гипса и изделий на его основе существует ряд нерешенных проблем.

Главная проблема связана, прежде всего, с устаревшей отечественной технологией производства гипсовых строительных изделий, которая применяется по настоящее время на большинстве строительных предприятий. Например, производя сравнение по такому важному показателю, как удельный расход вяжущего в объеме сырьевой смеси для производства строительных изделий, следует отметить, что при используемой на подавляющем большинстве гипсовых заводов литьевой технологии он составляет 70 % и более. Для современных технологических линий по производству вибропрессованных бетонных изделий на цементной основе этот показатель равен 15–20 %. Поэтому, своевременной и актуальной задачей является совершенствование существующих и разработка новых, более эффективных технологических схем, обеспечивающих, прежде всего, значительное сокращение расхода са-

мого дорогостоящего компонента – гипсового вяжущего и повышающих в целом технико-экономическую эффективность производства гипсовых материалов и изделий.

В связи с этим была поставлена задача по исследованию возможности получения гипсовых изделий на основе двухводного гипса. С точки зрения эффективности применяемой технологии, снижения капитальных и текущих затрат интерес представляет способ прессования полусухих смесей.

Работа выполнена в соответствии с целевой комплексной программой развития малоэтажного строительства, принятой кабинетом министра Республики Башкортостан (№ подраздела БРБ-05-08 «Разработка технологической документации на производство гипсовых стеновых и перегородочных изделий на основе безобжигового гипса для малоэтажного строительства»).

Целью работы является исследование процесса структурообразования и твердения композиций из дигидрата и полугидрата сульфата кальция в условиях полусухого прессования и разработка способа получения стеновых материалов и изделий на основе двухводного гипса.

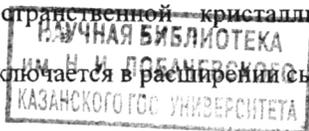
Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработка топологической модели структурообразования дисперсных гипсовых композиций при приложении внешних давлений.
2. Теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение механизма твердения системы с высоким содержанием дигидрата сульфата кальция в условиях полусухого прессования.
3. Определение оптимального количественного состава и влажности сырьевой смеси на основе двухводного и полуводного гипса.
4. Выявление роли основных технологических факторов на свойства гипсовых материалов, получаемых способом полусухого прессования.
5. Исследование физико-механических свойств прессованного гипсового камня на основе двухводного гипса.
6. Разработка технологии получения мелкоштучных стеновых изделий на основе двухводного гипса и оценка ее технико-экономической эффективности.

Научная новизна.

1. Разработана топологическая модель структурообразования гипсовых композиций, заключающаяся в преимущественном образовании двухмерных зародышей кристаллогидратов на поверхности дисперсных частиц двухводного гипса, независимо от уровня прикладываемых давлений, условий твердения, а также соотношения исходных и вновь образуемых фаз.
2. Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден двухстадийный механизм твердения дисперсных гипсовых систем с высоким содержанием дигидрата сульфата кальция в условиях полусухого прессования.
3. Определено минимальное содержание гипсового вяжущего в составе композиции (3-5%, в диапазоне давления прессования 5-20Мпа), необходимое для образования пространственной кристаллизационной структуры материала.

Практическое значение работы заключается в расширении сырьевой



базы производства гипсовых строительных материалов и изделий за счет использования двухводного (безобжигового) гипса и разработке технологии получения гипсовых изделий на их основе по упрощенной энергосберегающей технологии.

Разработанная технология производства мелкоштучных стеновых изделий, получаемых методом полусухого прессования дисперсных гипсовых композиций, позволит значительно снизить удельный расход вяжущих материалов в общем объеме сырьевой смеси и существенно повысить ее технико-экономическую эффективность по сравнению с традиционной технологией производства гипсовых изделий литьевым способом.

Основные положения, выносимые на защиту:

- механизм твердения гипсовой системы на основе дигидрата сульфата кальция в условиях полусухого прессования;
- топологическая модель структурообразования гипсовых композиций в зависимости от количественного соотношения исходных и вновь образующихся фаз, их дисперсности, а также величины прикладываемых внешних давлений;
- результаты экспериментальных исследований структуры искусственно-полученного гипса, полученного способом прессования полусухой смеси на основе двухводного гипса;
- технология получения прессованных мелкоштучных стеновых изделий на основе двухводного гипса.

Апробация работы.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Уфимского государственного нефтяного технического университета (г. Уфа, 2004–2008гг.); Восьмых академических чтений Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) «Современного состояния и перспектива развития строительного материаловедения» (г. Самара 2005г.); Десятых академических чтений РААСН «Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения» (г. Пенза-Казань 2006г.); Научно-технической конференции «Проблемы республиканского строительного комплекса» при Международной специализированной выставке «Строительство, архитектура, коммунальное хозяйство-2008» (г. Уфа, 2008г.); Научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса РБ» при Международной специализированной выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство-2009» (г. Уфа, 2009г.).

По материалам диссертационной работы опубликовано 10 печатных работ, в т.ч. две работы по списку, рекомендованному ВАК. Имеется положительное решение по заявке №2009103066 на изобретение «Сырьевая смесь для получения гипсового вяжущего и изделий на его основе».

Объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и общих выводов. Содержит 171 страницу основного машинописного текста, включая 29 иллюст-

раций, 22 таблицы, и 2 приложения. Список использованных источников включает 167 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен обзор существующих способов получения гипсовых вяжущих и различных изделий строительного назначения на основе природного и техногенного гипсового сырья.

В настоящее время гипсовые строительные материалы являются одними из наиболее перспективных при возведении малоэтажного жилья, а также для экологического оздоровления больших территорий вблизи городов. Многие регионы России (в том числе и Республика Башкортостан), в 40-50-ых годах уже имели широкий опыт применения гипсовых стеновых материалов и изделий в строительстве. Домами из гипсовых стеновых блоков были застроены целые кварталы городов, которые, как показывает практика и результаты проведенных комплексных обследований, успешно эксплуатируются до сегодняшнего времени. С точки зрения экономики, снижения удельных затрат топлива и энергии весьма привлекательным является использование природного гипса, без его перевода посредством обжига в вяжущее. Обзор литературы показал, что получение изделий на основе двуводного гипса возможно, в основном, при использовании давления прессования в сочетании с различными способами активации (измельчение, введение химических добавок и др.). Прочность получаемых материалов, по данным экспериментальных исследований А. Ф. Полака, В. В. Бабкова, Р. А. Анварова, И. М. Ляшкевича и др., достигает высоких значений. Применением способа фильтрационного прессования получены изделия с прочностью на сжатие до 30 МПа. Применение способов термопрессования, гиперпрессования позволяют получать изделия с прочностью до 50–70 МПа.

Однако способы термо- и гиперпрессования связаны с применением дорогостоящего оборудования, а также с дополнительными материальными и энергетическими затратами, что делает их менее привлекательными. Способ фильтропрессования связан с применением пресс-форм сложной конструкции; повышенное содержание воды в формовочных смесях увеличивает время прессования и снижает производительность оборудования; в процессе производства появляются отходы – фильтровальная вода с гипсовыми частицами и фильтровальный материал.

С точки зрения эффективности технологии производства стенового материала, интерес представляет способ прессования полусухих смесей. Применение технологии полусухого прессования дает возможность получать изделия с достаточно высокой прочностью для использования их в малоэтажном строительстве. Организация производства мелкоштучных стеновых изделий не требует больших затрат, кроме того, возможно использование оборудования, выпускаемого отечественными предприятиями машиностроения для прессования грунтоблоков и других изделий. Возможно также использование технологических линий на заводах по производству силикатного и керамического кирпича.

Во второй главе предложен механизм твердения систем на основе дигидрата сульфата кальция в условиях полусухого прессования.

Современные представления о механизме твердения вяжущих веществ, берущие начало в работах П. А. Ребиндера, развивались в последние десятилетия работами А. Ф. Полака, В. В. Бабкова, В. Б. Ратинова, Р.З. Рахимова, М. М. Сычева, А. В. Волженского, И. М. Ляшкевича и др. Теоретические разработки и выполненные экспериментальные исследования показали, что возникновение кристаллизационной структуры может происходить при выполнении следующих условий. Во-первых, частицы дисперсной фазы должны находиться на достаточно малом расстоянии h_k , при котором возможно образование кристаллизационных контактов между ними (рис. 1а). Во-вторых, концентрация растворенного вещества в дисперсионной среде должна быть больше растворимости гидрата, т. е. система должна быть метастабильной (по В. Оствальду). Чем выше пересыщение раствора, тем больше может быть расстояние между срастающимися частицами гидрата, при котором возможно образование кристаллизационной структуры. Расстояние между частицами h_k , обеспечивающее формирование кристаллизационных контактов по А. Ф. Полаку, равно

$$h_k = 0,5\delta \left[\frac{\ell n \alpha}{\ell n \alpha^*} + \sqrt{\left(\frac{\ln \alpha}{\ln \alpha^*}\right)^2 + \frac{4\varphi}{kT} \cdot \frac{(1-\chi)}{\ln \alpha^*}} \right], \quad (1)$$

где δ – межмолекулярное расстояние; α – степень пересыщения раствора ($\alpha = c/c_0$); α^* – степень пересыщения раствора, при которой возможно возникновение двумерных зародышей роста ($\alpha^* \sim 1,2$); $\varphi = 2\delta^2 \cdot \sigma$ – энергия отрыва одной молекулы с поверхности, χ – коэффициент физико-химической неоднородности.

Понятие физико-химической неоднородности введено А. Ф. Полаком для характеристики сродства образующихся зародышей и подложки, которая может быть количественно оценена коэффициентом χ ($0 \leq \chi \leq 2$). Значение $\chi = 0$ соответствует идентичности новообразования и подложки. При $\chi = 2$ между зародышем и подложкой никаких связей не возникает, и физико-химическая неоднородность достигает своего максимального значения.

При прессовании полусухих смесей сблизить частицы двухводного гипса на расстояние, необходимое для образования кристаллизационной структуры, не удастся, что обусловлено низким водосодержанием смеси и невысоким давлением прессования. Следовательно, для таких систем необходимо повысить пересыщение жидкой фазы относительно двухводного гипса, т.е. выполнить второе условие возникновения структуры. Этого можно достичь введением в систему некоторого количества полуводного гипса.

Рассмотрим механизм твердения композиции, твердая фаза которой состоит из двухводного (ДГ) и полуводного (ПГ) гипса. При затворении водой ПГ начинает интенсивно растворяться и в системе быстро создается пересыщение относительно ДГ. В комбинированной гипсовой системе подложкой может служить поверхность частиц двухводного гипса (χ близко к 0), что обуславливает возможность образования двумерных зародышей гидрата на поверхности ДГ. Вследствие этого процесса происходит обрастание исходных кристаллов ДГ, что приводит к уменьшению расстояния между ними (рис. 1б). При уменьшении зазора между частицами до критического размера

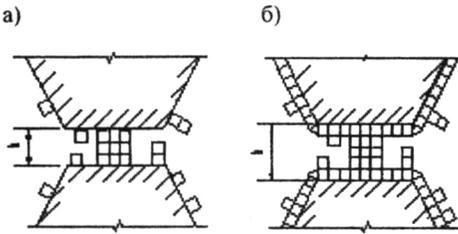


Рис. 1. Механизм срастания кристаллов при:
а) $h \leq 3\delta_0$; б) $h > 3\delta_0$.

($h \sim 3\delta_0$) возникают мостики срастания, и образуется пространственная кристаллизационная структура.

Однако пространственная структура может не возникнуть, если начальное расстояние между частицами ДГ слишком велико, т. е. исходная смесь не достаточно уплотнена и количество вяжущего ПГ не достаточно для того, чтобы при его

гидратации зазор между кристаллами ДГ уменьшился до критического.

После окончания процесса гидратации ПГ наступает вторая стадия твердения системы. К этому моменту времени сформировалась первичная пространственная структура, обладающая некоторой начальной прочностью. В системе также имеются частицы исходного ДГ, не связанные в структуру. Поскольку предварительной обработке порошок ДГ не подвергался, частицы в соответствии с законом нормального распределения случайных величин имеют различные размеры достаточно широкого спектра от крупных до весьма мелких. В присутствии жидкой фазы частицы более тонких фракций, согласно Г. Хьюлетту и В. Оствальду, менее устойчивы, чем крупной. Они постепенно растворяются, а крупные частицы растут за счет вещества тонкой фракции. Происходит упрочнение существующей первичной структуры, а также возможно возникновение контактов кристаллизации между не связанными кристаллами. В отличие от формирования первичной структуры, которая возникает в первые часы твердения, вторая стадия процесса протекает медленно в течение нескольких месяцев или лет, в зависимости от условий твердения системы.

Количественное описание твердения дисперсной системы двуводного гипса, состоящей из различных фракций по безгидратационному механизму приводится в монографии А. Ф. Полака, В. В. Бабкова и Е. П. Андреевой.

Для описания процесса твердения комбинированной гипсовой системы используется формула А. Н. Щукарева. Тогда с учетом механизма растворения и роста частиц по Г. Хьюлетту описание кинетики рассматриваемой системы (рис. 2) может быть осуществлено следующим образом:

$$-dz = K_z E_z S_z z_0 (z/z_0)^{2/3} (c_z - c) dt; \quad (2)$$

$$dy = K_y E_y S_y y_0 (y/y_0)^{2/3} (c - c_y) dt; \quad (3)$$

$$-dx = K_x E_x S_x x_0 (x/x_0)^{2/3} (c_x - c) dt; \quad (4)$$

$$dy/dt = -(dx/dt + 1, 19 \cdot dz/dt), \quad (5)$$

где x , y , z – текущее содержание двуводного гипса мелкой (x) и крупной (y) фракций, полуводного гипса (z), г/см³; K_x , K_y , K_z – константы скоростей процессов, см/с; c_x , c_y , c_z – концентрации раствора на поверхности фаз, г/см³; S_x , S_y , S_z – исходные удельные поверхности фаз, см²/г; x_0 , y_0 , z_0 – исходное содержание двуводного (x_0 , y_0) и полуводного гипса (z_0) в начале процесса, г/см³;

$E_i (i = x, y, z) = \exp [A_i(1 - Q_0/Q)]$ – фактор, отражающий влияние температуры на скорости процессов в системе, кДж/моль; A_x, A_y, A_z – значения безразмерной энергии активации процессов растворения и роста; Q_0, Q – условная и фактическая температура системы, К; t – время, с.

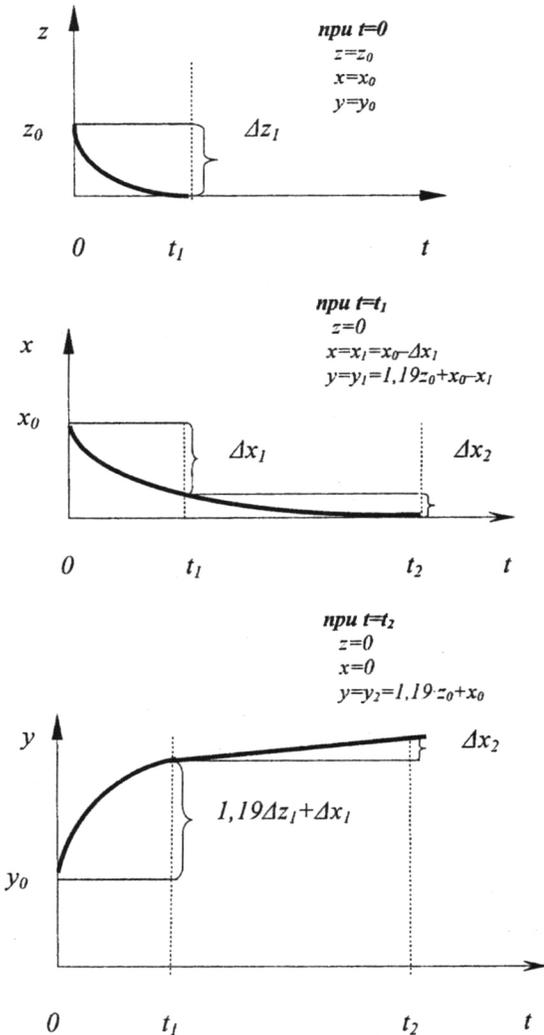


Рис. 2. Растворение и рост элементов комбинированной системы

Из уравнений следует, что скорость процессов растворения и роста элементов рассматриваемой системы зависит от исходной концентрации вещества, удельной поверхности, константы скорости процесса и градиента концентрации раствора на поверхности частиц и в объеме раствора. Таким образом, при прочих равных условиях процесс твердения характеризуется изменением концентрации вещества в объеме раствора. Кривая изменения концентрации вещества в объеме раствора с учетом механизма растворения частиц по Г. Хьюлетту показана на рисунке 3.

После затворения вяжущего водой концентрация вещества в растворе быстро возрастает до значения, при котором возможно образование устойчивых зародышей новой фазы. Данная концентрация поддерживается в течение определенного момента времени растворением новых порций вяжущего. После полного растворения вяжущего концентрация по мере гидратации снижается и приближается к значению растворимости гидрата при данной температуре, процесс гидратации завершается.

Так как растворимость ДГ зависит от его удельной поверхности и растворимость тонкой фракции ДГ может достигать высоких значений (в зависимости от размера частиц $c_x = k(a_x \cdot c_y)$), одновременно с процессом гидратации может протекать процесс перекристаллизации тонкой фракции ДГ по Г. Хьюлетту. После окончания процесса гидратации гипсового вяжущего процесс перекристаллизации продолжается в течение длительного времени. Для проверки предлагаемого механизма твердения системы, состоящей из смеси двухводного гипса (ДГ) и полуводного гипса (ПГ), были выполнены следующие экспериментальные работы. Процесс образования первичной структуры и влияние на него двухводного гипса изучали путем формирования и испытания образцов различного состава. Изготавливали три серии образцов: а) гипсовое вяжущее Г-4-Б-П (ПГ) – молотый двухводный гипс Охлебининского месторождения (Республика Башкортостан) (ДГ); б) гипсовое вяжущее Г-4-Б-П – известняковая мука; в) гипсовое вяжущее Г-4-Б-П – кварцевый песок. Содержание ПГ изменялось от 0 до 50 %, водотвердое отношение (В/Т) – 0,22...0,17. Образцы цилиндрической формы прессовали под давлением 20 МПа в течение 30с и испытывали на прочность при сжатии в возрасте 7сут твердения при $\phi = 60 \pm 10 \%$ и $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$. Результаты экспериментальных исследований образцов на прочность представлены на рисунке 4.

Как видно из рисунка, двухводный гипс принимает активное участие в формировании первичной структуры. При наличии в системе ДГ пространственная кристаллизационная структура с достаточно высокой прочностью образуется даже при небольшом содержании ПГ (не более 10%).

При таких же условиях, если вместо двухводного гипса в смесь водится известняковая мука, прочность полученного материала ~ в 2,5 раза ниже, а для состава с песком близка к нулю. Это достаточно ярко иллюстрирует важность идентичности подложки и образующихся зародышей гидрата.

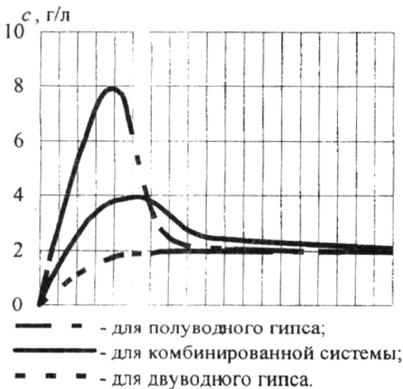


Рис. 3. Изменение во времени концентрации CaSO_4 в растворе

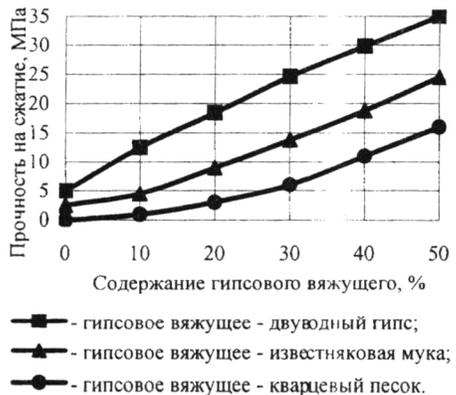


Рис. 4. Предел прочности при сжатии образцов различного состава в зависимости от содержания вяжущего в возрасте 7 сут

Если в систему вводится двуводный гипс, то величина χ близка к 0 и на его поверхности легко образуются зародыши продуктов гидратации ПГ. Затем происходит срастание отдельных кристаллов двуводного гипса и образуется первичная структура. При замещении гипса кварцевым песком коэффициент $\chi \sim 2$. В этом случае в результате гидратации ПГ могут образовываться только трехмерные зародыши, поскольку свойства поверхности песка резко отличаются от свойств поверхности новообразований. В случае использования известняковой муки $2 > \chi > 1$, при этом на поверхности его частиц образуются преимущественно квазитрехмерные зародыши. В результате частицы песка и известняка не могут встраиваться в пространственную структуру, а для ее образования необходимо значительно больше вяжущего вещества. Как следует из экспериментов, для получения равнопрочной структуры материала при использовании вместо двуводного гипса известняковой муки или кварцевого песка необходимо увеличить содержание вяжущего в 2 и более раза.

Результаты испытания образцов на водостойкость также подтверждают выдвинутые положения. Образцы на основе двуводного гипса стоят в воде без видимых признаков разрушения при содержании гипсового вяжущего в составе смеси, равном 5 %. Образцы, в которых использовался кварцевый песок, разрушаются после погружения в воду даже при содержании гипсового вяжущего 10 %, для образцов с известняком показателя несколько лучше.



Рис. 5. Изменение прочности во времени пресованных образцов различного состава при содержании гипсового вяжущего 20 %

гидратации вяжущего закончился в первые сутки твердения. В течение времени хранения образцов с 7 до 28 сут прочность образцов состава ДГ:ПГ=80:20 увеличивается на 8–10 %.

Параллельно выполненные испытания образцов с песком и известняком показали, что их прочность не изменилась и осталась равной прочности образцов в возрасте 7 сут. Некоторое повышение прочности в течение первых 7 сут объясняется высыханием образцов до равновесного состояния.

Для изучения второй стадии процесса (безгидратационного твердения) затвердевшие образцы хранились в течение месяца при $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности атмосферы $\phi = 60 \pm 10\%$. Кинетика изменения прочности образцов на сжатие приведена на рисунке 5.

Из результатов экспериментов следует, что прочность затвердевших образцов продолжает увеличиваться, хотя процесс

В третьей главе представлены характеристики исходных материалов использованных в работе для экспериментальных исследований и методики их проведения; определены оптимальные составы сырьевых смесей на основе двухводного гипса для производства мелкочтучных стеновых изделий, основные принципы приготовления полусухой смеси и параметры прессования.

Для исследования был взят природный гипс Охлебининского месторождения (Республика Башкортостан), его химический состав приведен в таблице 1. Гипсовое вяжущее Г4-Б-II производства ОАО «Сода».

Таблица 1. Химический состав природного двухводного гипса Охлебининского месторождения

Содержание, %						
CaO	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃ ; Fe ₂ O ₃	MgO	H ₂ O кристаллизационная	CaSO ₃ ·2H ₂ O
31,7-33	40,16-46,75	0,2-1,96	0,2-1	0,02-1,4	18,67-20	94,7-97,4

Величину удельной поверхности, применяемых гипсовых вяжущих и дисперсных материалов определяли по методу воздухопроницаемости с помощью пневматического поверхностимера Т-3 и величине остатка на сите. Измельчение исходных материалов осуществлялось с использованием шаровой мельницы типа МБЛ и лабораторного дезинтегратора ДЗ-04. Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре ДРОН-3, а для исследования микроструктуры – растровый микроскоп ЭВМ-100 АК. Определение показателей стеновых изделий на гипсовых вяжущих производилось в соответствии ГОСТ 6133- 99. Для обработки полученных результатов использовались компьютерные программы и методы математической статистики.

Одной из важнейших задач технологии прессования полусухих смесей является определение оптимальной влажности смеси. С этой целью изучалось влияние водотвердого отношения смеси на плотность получаемого материала, объем и характер пор. Образцы изготавливали прессованием смесей различного состава с различной влажностью при давлениях 5, 10 и 20 МПа. Определяли плотность свежесформованных образцов и образцов в возрасте 7сут хранения при $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности атмосферы $\phi = 60 \pm 10 \%$. Результаты исследований приведены на рисунке 6.

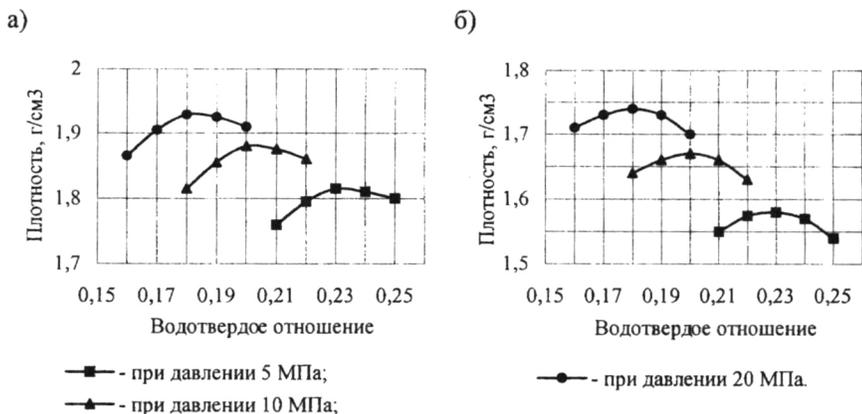


Рис. 6. Изменение плотности образцов состава ДГ:ГВ= 80:20 в зависимости от водотвердого отношения при различных давлениях прессования: а) свежеформованных; б) в возрасте 7 сут.

Из рис.6 видно, что с увеличением влажности смеси плотность свежеформованных образцов возрастает, что объясняется улучшением прессуемости смеси в результате уменьшения сил трения между частицами и о стенки пресс-формы, а также заполнением межзернового пространства водой. После достижения максимального значения коэффициент уплотнения стабилизируется, т. е. увеличение влажности смеси не влияет на качество ее уплотнения. Некоторое снижение плотности свежеформованных образцов при последующем увеличении влажности смеси объясняется влиянием снижения истинной плотности смеси. Значение водотвердого отношения смеси, соответствующее максимальной плотности свежеформованных и сухих образцов, является оптимальным и соответствует минимальной пористости.

Для состава 80 : 20 (двуводный гипс : гипсовое вяжущее) при давлении прессования 20 МПа, оптимальное водотвердое отношение равно 0,18, что соответствует оптимальной влажности смеси 15 %. При снижении давления прессования до 5 МПа оптимальное водотвердое отношение повышается до 0,23 (оптимальная влажность смеси – 18 %).

На основании проведенных исследований определены оптимальные значения водотвердого отношения для различных составов и давлений прессования. На рис. 7 изображена зависимость водотвердого и водогипсового отношений от содержания в составе смеси гипсового вяжущего при давлении прессования 20 МПа. Видно, что с увеличением содержания гипсового вяжущего в составе сырьевой смеси водотвердое отношение увеличивается, что объясняется высокой активностью гипсового вяжущего и его более высокой удельной поверхностью.

Значения водогипсовых отношений определены из зависимости

$$W = w/x, \quad (5)$$

где W – водогипсовое отношение, w – водотвердое отношение смеси,

x – долевое содержание гипсового вяжущего.

Из рисунка 7 видно, что с увеличением количества гипсового вяжущего в составе смеси водогипсовое отношение снижается. Вместе с тем уменьшается пористость системы, так как снижается количество воды, неизрасходованное на гидратацию. Если при прессовании смеси оптимальной влажности состава ДГ : ГВ = 100 : 0 пористость образцов равна 28%, то для состава ДГ : ГВ = 70 : 30 пористость снижается до 24 %, что обусловлено гидратацией полуводного гипса (рис. 8).

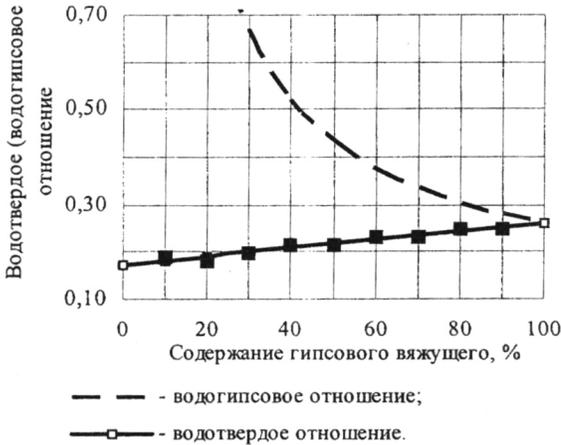


Рис. 7. Изменение оптимального водотвердого и водогипсового соотношений смеси, прессуемой при давлении 20 МПа, в зависимости от содержания гипсового вяжущего.

Таким образом, наблюдаемое повышение прочности системы при увеличении содержания гипсового вяжущего связано не только со структурообразующей ролью вяжущего, но и со снижением общей пористости материала. С целью снижения стоимости получаемых изделий основной задачей при определении состава сырьевой смеси являлось снижение долевого содержания вяжущего

при получении образцов с достаточно высокими показателями прочности и водостойкости.

Оптимальный состав смеси определялся из условия получения стеновых изделий марки по прочности не ниже М35. С этой целью проводились исследования физико-механических характеристик образцов различных составов, содержание гипсового вяжущего изменялось от 0 до 50 %.

Испытания образцов на прочность показали, что образцы из двуводного гипса (без введения гипсового вяжущего), прессованные при давлении 20 МПа, имеют прочность при сжатии, равную 3,4 МПа. При этом наблюдалось образование трещин в образцах 7-суточного возраста. Причиной трещинообразования является возникновение усадочных деформаций. Введение в состав гипсового вяжущего даже в незначительном количестве ($\approx 3-5$ %) предотвращает образование трещин, прочность образцов повышается до 5,3 МПа.

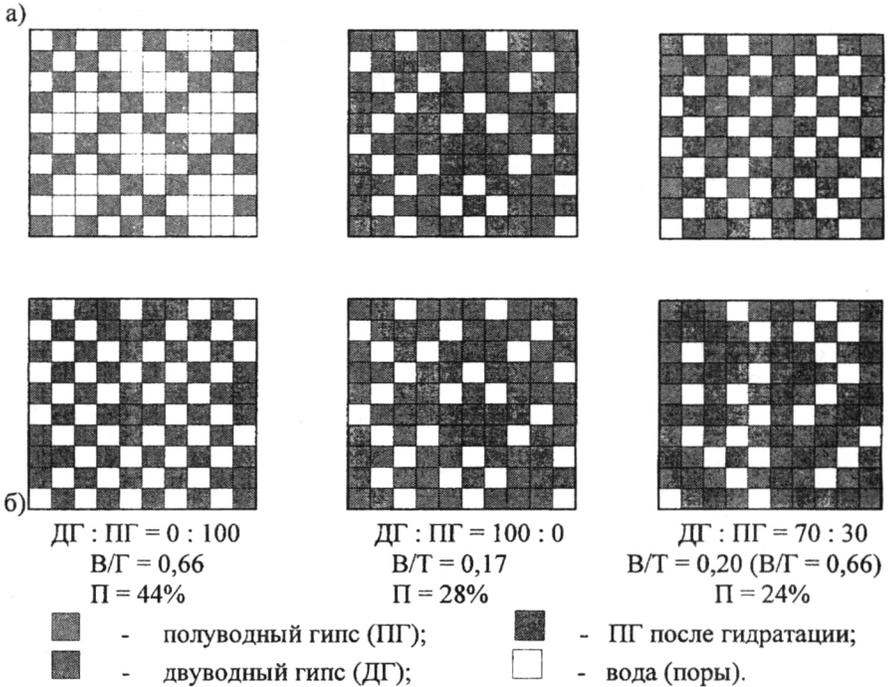


Рис. 8. Распределение исходных и конечных фаз в объеме материала различного состава: а) – до гидратации; б) – после гидратации.

На следующем этапе исследований определялась водостойкость образцов различного состава. Образцы испытывались в возрасте 7 сут хранения при $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и $\phi = 60 \pm 10\%$ в сухом (контрольные образцы), водонасыщенном состоянии и высушенном после водонасыщения (рис. 9).

Образцы состава $\text{ДГ} : \text{ГВ} = 100 : 0$ непосредственно после погружения в воду полностью разрушаются. При введении 5 % гипсового вяжущего гидравлические свойства образцов резко улучшаются, образцы стоят в воде без видимых признаков разрушения. По мере увеличения содержания гипсового вяжущего в составе смеси водостойкость образцов повышается, что свидетельствует о возрастании структурообразующей роли кристаллизационных контактов. Интенсивность роста коэффициента размягчения снижается при достижении содержания гипсового вяжущего $\sim 15\text{--}20\%$.

На основании проведенных исследований для получения мелкоштучных стеновых изделий рекомендуется применение смесей следующего состава:

1) при использовании оборудования производства силикатного, керамического кирпича, обеспечивающего давление прессования 20 МПа и более – состав $\text{ДГ} : \text{ГВ} = 80 : 20$;

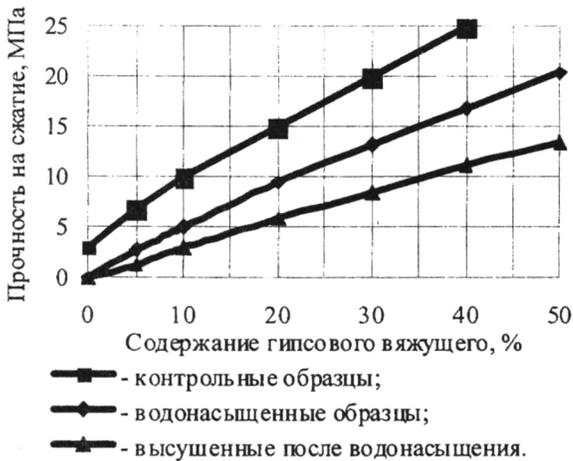


Рис. 9. Изменение прочности на сжатие образцов, прессованных при давлении 20 МПа, в зависимости от содержания гипсового вяжущего при различных условиях хранения в возрасте 7 сут

2) при использовании прес-сов с низким удельным давлением (установка для формирования грунтоблоков и др.) 5–10 МПа – состав ДГ : ГВ = 70 : 30. Составы для изготовления стеновых изделий на основе двухводного гипса при давлении прессования 20 МПа приведены в таблице 2.

Таблица 2. Оптимальные составы для изготовления стенового материала на основе дисперсного двухводного гипса

Составы	Двуводный гипс	Гипсовое вяжущее	Вода
I	68,5	16,5	15,0
II	62,0	20,0	18,0

Для образцов оптимального состава I изучалась кинетика изменения прочности образцов на сжатие. Наиболее интенсивное нарастание прочности образцов в начальный период твердения наблюдается впервые 30 мин, что объясняется твердением гипсового вяжущего. Далее прочность образцов повышается за счет потери материалом влаги и перекристаллизации тонкодисперсной фракции дигидрата (рис. 10).

Изделия, полученные способом прессования полусухой смеси, изначально имеют низкую влажность, что способствует быстрому высыханию и набору марочной прочности. Прочность образцов в возрасте 4 сут составляет более 90 % от марочной прочности.

Для получения сравнительных данных испытывались образцы – кубики, изготовленные по литевой технологии. Низкая прочность литых образцов соответствующего состава (ДГ : ГВ = 80 : 20) объясняется высокой пористостью ~ 45 %, обусловленной высоким водогипсовым отношением.

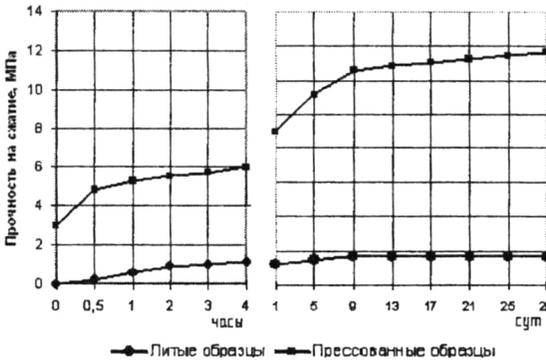


Рис. 10. Изменение прочности во времени прессованных и литых образцов состава ДГ : ГВ = 80 : 20.

Полученные показатели физико-механических свойств образцов позволяют сделать вывод о возможности применения разработанного композиционного состава для получения неводостойких стеновых изделий.

На основании изученных свойств двухводного гипса и условий приготовления смеси установлена следующая последовательность введения компонентов:

- 1) двухводный гипс смешивается с гипсовым вяжущим для получения однородной сухой смеси;
- 2) в сухую смесь вводится вода (при необходимости с химическими добавками-замедлителями), с целью получения однородной полусухой смеси оптимальной влажности.

Результаты исследования влияния режима прессования на прочность полученного материала представлены на рисунке 11.

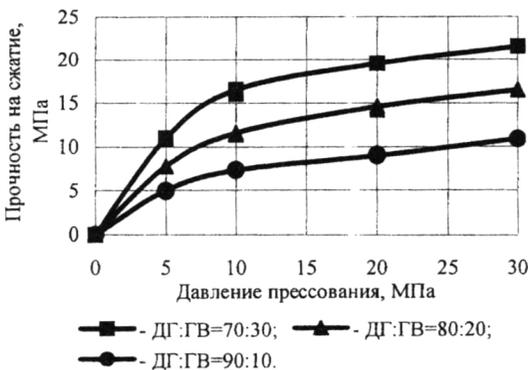


Рис. 11. Зависимость прочности образцов на сжатие от давления прессования для различных составов сырьевых смесей.

Увеличение прочности образцов после 7сут хранения незначительно и лежит в пределах точности эксперимента. Полученный прессованный материал имеет прочность на сжатие 11,4 МПа, среднюю плотность – 1,64 г/см³, коэффициент теплопроводности – 0,58 Вт/(м°С), коэффициент размягчения – 0,36.

С увеличением давления прессования прочность образцов возрастает. При этом заметный прирост прочности наблюдается при давлениях прессования до 10...15 МПа, далее прирост прочности менее значителен. Это подтверждает целесообразность применения в прессовании гипсовых композиций давлений в пределах 10...20 МПа. Кроме того, это тот уровень удельно-

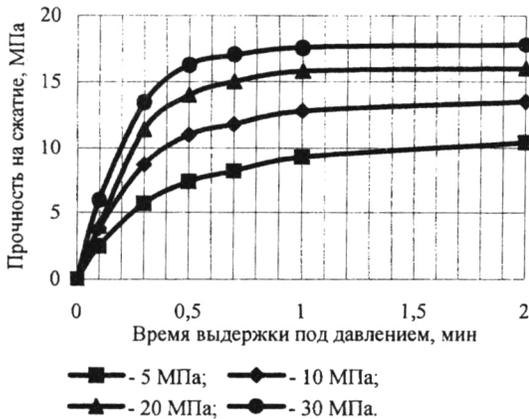


Рис. 12. Зависимость прочности на сжатие образцов состава ДГ : ГВ = 80 : 20 от времени прессования при различном уровне прессующего давления.

го давления, который заложен в серийном прессовом оборудовании для производства строительных материалов (силикатный, керамический кирпич).

В связи с тем, что прессовое оборудование имеет различную производительность (время прессования – от 6 до 30 с), исследовали влияние времени прессования образцов на их прочность (рис. 12). Образцы одинакового состава выдерживали под давлением от 5 с до 10 мин и испытывали в возрасте 7 сут.

Установлено, что продолжительность прессования смеси свыше 2 мин не влияет на прочность и объемную массу образцов. Наибольшее влияние на прочность образцов время выдержки под давлением оказывает при малых удельных давлениях прессования.

Учитывая то, что с увеличением времени прессования снижается производительность пресса и, как следствие, ухудшаются технико-экономические показатели производства, получение полнотелого кирпича М35, М50 из смеси состава ДГ : ГВ = 80 : 20 возможно при давлении прессования не менее 10 МПа, марки М75 – не менее 20 МПа.

При использовании высокопроизводительных прессов, а также при возможном отклонении величины прессующей нагрузки от заданной, рекомендуется некоторое увеличение содержания гипсового вяжущего.

В четвертой главе определены требования, предъявляемые к основному оборудованию, разработана технология производства мелкоштучных стеновых изделий с использованием двуводного гипса и проведена ее технико-экономическая оценка.

Технология получения мелкоштучных стеновых и перегородочных изделий была апробирована в лабораторных условиях (рис.13). Гипсовый кирпич размером 250x120x65, а также полнотелый перегородочный блок (120x190x590) имеют прочность на сжатие 10,5 МПа (М100), плотность в сухом состоянии – 1,65 г/см³; гипсовый камень (стеновой блок) размером 250x120x138 мм (с пустотностью ~ 30 %) – 5,4 МПа (М50), среднюю плотность в сухом состоянии – 1,16 г/см³. Прочность стенового камня на сжатие непосредственно после прессования составляет не менее 1,1 МПа.

В целом, стеновые материалы, изготовленные из безобжигового двуводного гипса и гипсового вяжущего по разработанной технологии, имеют

невысокую среднюю плотность, достаточно высокую прочность для применения их в малоэтажном строительстве при возведении самонесущих стен и перегородок. При защите гипсовых изделий от увлажнения их также можно применять и в конструкциях наружных стен.

Технология получения гипсовых стеновых изделий разработана применительно к технологической линии по изготовлению силикатного кирпича с полным производственным циклом (вариант 1, расположение г. Стерлитамак), и по упрощенной схеме (вариант 2, расположение производства – г. Уфа, сырье – привозной молотый гипс) с применением установки для формования грунтоблоков (рис.14). Схемы технологических процессов производства мелкоштучных стеновых изделий по обеим технологиям представлена на рисунке 15.

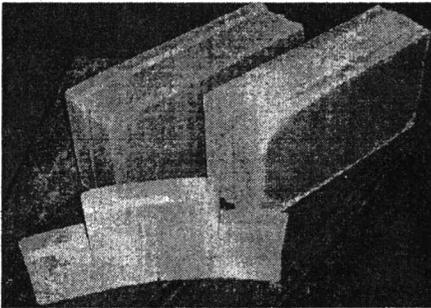


Рис. 13. Стеновые и перегородочные изделия на основе двуводного гипса

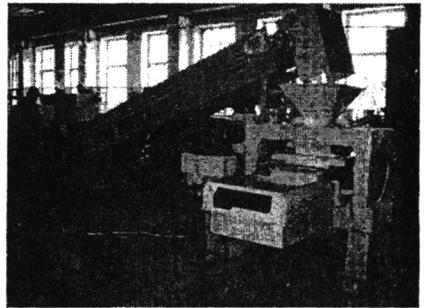


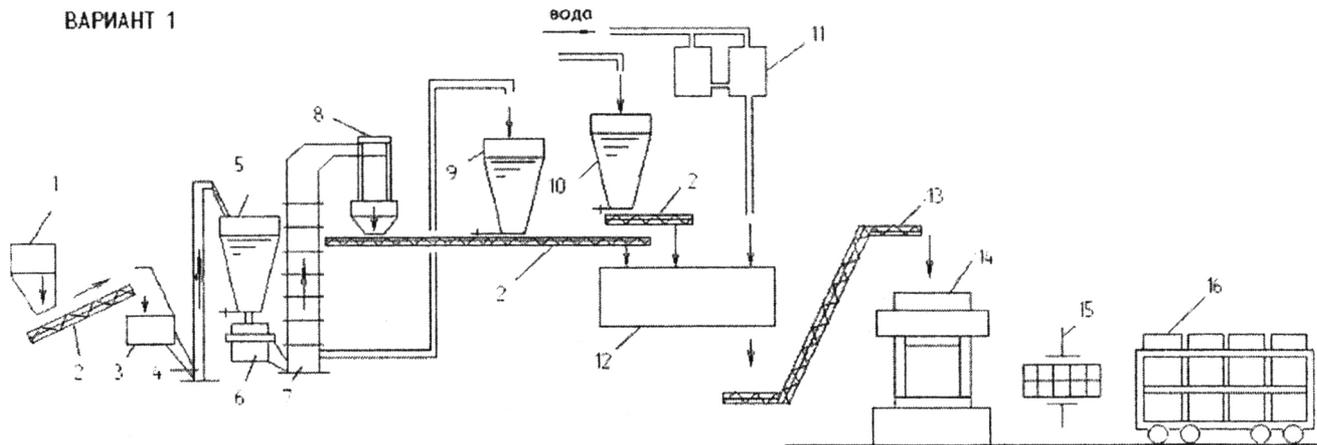
Рис. 14. Установка для прессования гипсовых блоков на базе ПК-250

Производство изделий включает в себя дозирование исходных компонентов (двуводный гипс или фосфогипс с естественной влажностью, нейтрализующая добавка, высушенный фосфогипс, гипсовое вяжущее, замедлитель твердения вяжущего), приготовление формовочной смеси и формование изделий в пресс-формах под давлением. Технология изготовления мелкоштучных стеновых изделий по упрощенной схеме апробирована в г. Уфе на установке для формования грунтоблоков.

Оценка экономической эффективности производства гипсовых стеновых изделий проводилась для двух вариантов разработанной технологии применительно к заводу по производству силикатного кирпича, г.Стерлитамак (вариант 1) и ООО УПТК трест «БНЗС», г. Уфа (вариант 2) по приведенным затратам. В качестве сравниваемого варианта рассматривали производство гипсовых блоков, изготавливаемых на карусельной установке по литейной технологии на ОАО «Сода» (вариант 3).

Себестоимость условного кирпича, изготовленного по варианту 1, составила 1,56 руб., по варианту 2 – 2,14 руб., по варианту 3 – 4,46 руб. Себестоимость прессованных гипсовых изделий существенно ниже себестоимости литых гипсовых блоков, производимых на карусельных установках. Это связано со снижением расхода вяжущего в 3 и более раза, а также исключением из технологического процесса сушки изделий. Самую низкую себестоимость имеет кирпич, производимый по варианту 1, что объясняется

ВАРИАНТ 1



ВАРИАНТ 2

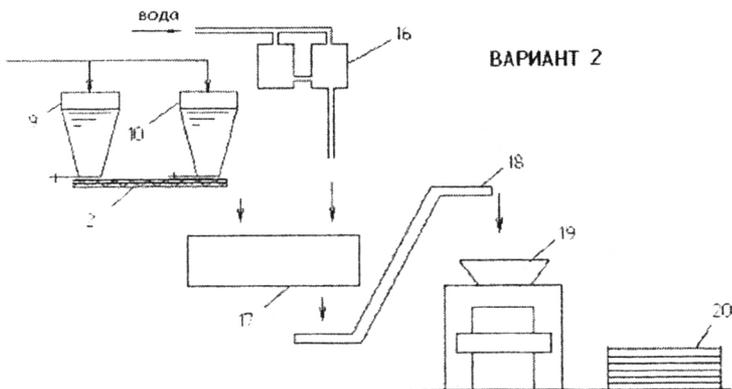


Рис. 15. Схемы технологического процесса производства мелкоштучных стеновых изделий на основе двуводного гипса: 1 – бункер гипсового камня; 2 – ленточный транспортер; 3 – щековая дробилка; 4 – элеватор цепной; 5 – расходный бункер; 6 – тарельчатый питатель; 7 – шахтная мельница; 8 – циклоны; 9 – бункер молотого гипса; 10 – бункер гипсового вяжущего; 11 – подача и дозирование воды и химических добавок (замедлителей); 12 – бегуны; 13 – винтовой питатель; 14 – гидравлический или рычажный пресс; 15 – механизм съема и укладки изделий; 16 – вагонетка; 17 – лопастной смеситель; 18 – ленточный транспортер; 19 – установка для прессования гипсовых блоков РК-250; 20 – склад готовой продукции.

сравнительно низким расходом вяжущего и высокой, в сравнении с вариантом 2, производительностью линии. Приведенные данные по себестоимости получаемых изделий и капитальным затратам свидетельствуют об экономической целесообразности их внедрения взамен литых гипсовых блоков.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана топологическая модель структурообразования гипсовых композиций и на ее основе предложен двухстадийный механизм твердения систем из двухводного и полуводного гипса в условиях полусухого прессования. Структурообразование обеспечивается сближением частиц за счет внешнего давления и введения вяжущего, необходимого для создания определенного пересыщения по отношению к двухводному гипсу и образования связей между частицами дигидрата. Возможность твердения гипсовой системы на основе дигидрата сульфата кальция подтверждена экспериментально, показано влияние двухводного гипса на формирование первичной структуры и кинетику упрочнения материала во времени.

2. Оптимальное значение водотвердого отношения зависит от параметров прессования, характеристик и соотношения компонентов сырьевой смеси. С увеличением долевого содержания гипсового вяжущего в составе смеси при прочих равных условиях значение оптимальной влажности возрастает, что объясняется высокой активностью гипсового вяжущего и более высокой, чем у двухводного гипса, удельной поверхностью. Для состава смеси 80 : 20 (гипс : гипсовое вяжущее) и давления прессования 20 МПа оптимальное водотвердое отношение составляет 0,18, что соответствует влажности смеси 15 %.

3. Величина прессующего давления оказывает существенное влияние на прочность материала. При этом заметный прирост прочности наблюдается при давлениях прессования до 10...15 МПа, далее прирост прочности менее значителен. С увеличением давления прессования наблюдается снижение пористости материала (при изменении давления прессования с 5 до 20 МПа, пористость снижается на 6–7 %), что обусловлено уменьшением оптимального значения водотвердого отношения и увеличением степени уплотнения смеси. Увеличение времени приложения давления также положительно влияет на прочность материала, особенно при низких давлениях прессования. Учитывая производительность серийных прессов на заводах силикатного, керамического кирпича установлено, что получение полнотелого кирпича М35, М50 из смеси состава ДГ : ГВ = 80 : 20, 70 : 30 возможно при обеспечении давления прессования 5-10 МПа, марки М75 – не менее 20 МПа.

4. На основе теоретических и экспериментальных исследований предложена технология получения мелкоштучных стеновых изделий на основе двухводного гипса для сооружения перегородок и стен малоэтажных зданий. Прочность получаемого материала зависит от состава смеси, характеристик исходных компонентов, способа приготовления смеси, параметров прессования и условий хранения. Полнотелый кирпич, полученный по разработанной технологии, имеет предел прочности при сжатии непосредственно после прессования не менее 2 МПа, прочность на сжатие в возрасте 7 сут – 10,5 МПа (М100), плотность в сухом состоянии – 1,65 г/см³; стеновой камень с

пустотностью ~30 % имеет прочность при сжатии 5,4 МПа, плотность в сухом состоянии – 1,16 г/см³.

5. Основные показатели прессованных гипсовых изделий (прочность на сжатие, водостойкость и др.) соответствуют аналогичным характеристикам литых гипсовых блоков, но при этом содержание гипсового вяжущего снижено более чем в 3 раза и, соответственно, себестоимость стеновых блоков, полученных по разработанной технологии, в 2–3 раза ниже себестоимости изделий, производимых литьевым способом.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих научных трудах, из них №№5,9 – опубликованы в журналах, включенных в перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий в соответствии с требованиями ВАК Министерства образования и науки РФ:

1. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосеко И.В., Анваров Р.А., Юнусова С.С., Печенкина Т.В. Структурообразование композиции на основе двухводного гипса / Сб. докл. Международной конференции «Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения». Издание Российской академии архитектуры и строительных наук. Вып.8. - Самара-2004.С.636-639.

2. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосеко И.В., Анваров Р.А., Юнусова С.С., Печенкина Т.В. Структурообразование и твердение прессованных композиций на основе дигидрата сульфата кальция / Сб. докл. Международной конференции «Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения». Издание Российской академии архитектуры и строительных наук. Вып.10 - Пенза-Казань – 2006. С.491-494.

3. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосеко И.В., Анваров Р.А., Юнусова С.С., Печенкина Т.В. Структурообразование прессованных композиций на основе двухводного гипса / Строительный вестник Российской академии инженерной академии. Труды секции «Строительство» РИА. Вып.7 – Москва. 2006. С.58-63.

4. Недосеко И.В., Юнусова С.С., Печенкина Т.В. Технологический регламент по производству гипсовых стеновых изделий на мини заводах с установкой для формирования грунтоблоков /Уфа, УГНТУ-2007. 30с.

5. Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосеко И.В., Печенкина Т.В. Опыт производства и эксплуатации гипсовых стеновых изделий / Москва: Строительные материалы – 2008. - №3 С.78-81.

6. Печенкина Т.В., Мирсаев Р.Н., Недосеко И.В. Стеновые изделия на основе гипса и гипсосодержащих отходов для малоэтажного строительства / Сб. докл. XII международной научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса РБ» при специализированной выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство - 2008», Уфа.-2008.-Том1.- С.83-86.

7. Бабков В.В., Недосеко И.В., Шаяхметов У.Ш., Печенкина Т.В. Стеновые изделия на основе фосфогипса / Вестник АН РБ, - 2008. том 13, №2, С.29-30.

8. Недосеко И.В., Шаяхметов У.Ш., Печенкина Т.В. Технология полусухого прессования в производстве гипсовых изделий / Сб. докл. Всероссийской конференции «Технологии композиционной керамики в материаловедении», Уфа, БГПУ-2008. С.140-142.

9. Мирсаев Р.Н., Печенкина Т.В., Бабков В.В., Недосеко И.В., Юнусова С.С. Исторический опыт и современные перспективы производства гипсовых стеновых изделий / Известия Казанского архитектурно-строительного университета, Казань-2008. - №2. С.225-230.

10. Печенкина Т.В., Анваров Р.А., Бабков В.В. Стеновые перегородочные изделия на гипсовой основе для малоэтажного строительства / Сб. докл. XIII международной научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса РБ» при специализированной выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство - 2009», Уфа.-2009.-Том1.- С.116-118.

Корректурa автора

Подписано в печати *26.03.09.*

Формат 60x84/16

Заказ № *198.*

Печать RISO

Тираж 100 экз.

ПМО КазГАСУ

420043, Казань, ул. Зеленая, 1

2 =