

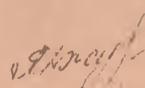
ОДЕССКИЙ ИНЖЕНЕРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ДЖУСУПОВА Махават Абдысадыковна

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРЫ БЕЗАВТОКЛАВНОГО СИЛИКАТНОГО  
ПРЕССМАТЕРИАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Специальность 05.23.05 - Строительные материалы  
и изделия



А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ОДЕССА 1991

Диссертационная работа выполнена на кафедре "Процессы и аппараты в технологии строительных материалов" Одесского инженерно-строительного института.

Научный руководитель — член-корреспондент Инженерной академии СССР, доктор технических наук, профессор  
Воанесенский Виталий Анатольевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Акимов А.В.  
кандидат технических наук, доцент Кузнецов Д.А.

Ведущая организация КыргызНИИС Госстроя республики Кыргызстан

Защита диссертации состоится "19" ноября 1991 г. в 11 часов на заседании специализированного совета К 068.41.01 по присуждению ученой степени кандидата технических наук в Одесском инженерно-строительном институте по адресу: 270029, г.Одесса, ул.Дидрихсона, 4, ОИСИ, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского инженерно-строительного института.

Автореферат разослан "18" октября 1991 г.

Ученый секретарь специализированного совета канд.техн.наук, доцент *Малахова* Н.А.МАЛАХОВА

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Возрастающий дефицит строительных материалов, в частности в связи со значительным ростом малоэтажного строительства, остро поставил проблему ресурсосбережения. Одним из основных факторов снижения расхода специального сырья является расширенное использование побочных продуктов других производств (техногенного сырья), причем важнейшей задачей строительной индустрии остается всемерное снижение энергетических затрат на производство единицы готовой продукции, на эксплуатацию сооружений и т.п. Комплексные ресурсосберегающие технологии позволяют интенсифицировать производство и решать ряд экологических задач.

В последние годы в общем объеме производства силикатных материалов увеличивается доля композиционных материалов на основе известки и кремнезема; среди стеновых материалов силикатные прессованные изделия составляют 16%; в основном они изготавливаются из природных сырьевых материалов по автоклавной технологии, что связано с высокими топливно-энергетическими затратами на тепловую обработку сырья при температуре 190°C и с необходимостью в дорогостоящих и дефицитных автоклавах.

Снизить энергетические затраты, повысить уровень механизации технологического процесса представляется возможным при замене традиционной автоклавной технологии на технологию, позволяющую изготавливать изделия с тепловой обработкой их при атмосферном давлении. Большой интерес с этой точки зрения представляют попутные продукты суперфосфатного и глиноземного производств. Получаемое здесь кремнеземсодержащее и алюмо-железосодержащее техногенное сырье обладает высокой реакционной способностью, благодаря аморфной и нестабильной кристаллической структуре. Рациональное использование этих продуктов позволит решать актуальные задачи — получить качественный силикатный прессматериал обработкой при атмосферном давлении, увеличить выпуск стеновых материалов, значительно сократить расход традиционного сырья (известь, цемент, песок) и электроэнергии, попутно оздоровить окружающую среду.

Цель исследования — получение безавтоклавного силикатного прессматериала, включающего вторичные кремнеземсодержащий и алюмо-железосодержащий техногенные продукты промышленности, при сохранении заданных физико-технических свойств.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- определить роль бокситового шлама, являющегося побочным продуктом глиноземного производства, в формировании структуры и физико-механических характеристик силикатного прессматериала;
- оценить влияние на физико-механические свойства силикатного прессматериала гидравлически активного кремнеземсодержащего продукта суперфосфатного производства - кремнегеля;
- изучить влияние извести, добавки гипса и цемента на формирование структуры прочного и водостойкого прессматериала;
- проанализировать фазовый состав цементирующей связки безавтоклавного силикатного прессматериала;
- многокритериально оценить качество силикатного прессматериала;
- определить оптимальную область рецептур безавтоклавного силикатного прессматериала с заданными уровнями критериев качества;
- разработать и опробовать технологию приготовления безавтоклавного силикатного кирпича и оценить его технико-экономическую эффективность производства.

Исследования выполнены в ОИИ на кафедре ЦАТМ в соответствии с координационным планом (п. 2.16.2) Академии наук СССР на 1986-1990 гг. по проблеме "Коллоидная химия и физико-химическая механика".

#### Научная новизна:

- установлено положительное влияние алюмо-железистой составляющей (бокситового шлама) на формирование новообразований и поровой структуры силикатного прессматериала, выражающееся в повышении его водо- и морозостойкости;
- за счет совместного использования бокситового шлама и гидравлически активного кремнегеля как кремнеземистого компонента вяжущего снижена температура тепловлажностной обработки до 95...98°C;
- показано, что для устранения деструктивных процессов при гашении извести и для активного вовлечения в реакцию гидротермального синтеза бокситового шлама, для формирования структуры прочного и водостойкого прессматериала необходимо введение гипса в оптимальных количествах 2...3 %;
- определен фазовый состав цементирующей связки силикатного прессматериала и влияние на ее качественный состав кремнегеля и бокситового шлама;
- определена оптимальная область рецептур безавтоклавного силикатного прессматериала с гарантированным уровнем качества по ком-

плексу физико-технических свойств;

- установлено, что наличие в качестве кремнеземистого компонента вяжущего реакционноактивного кремнегеля значительно повышает адгезионную прочность силикатного кирпича;
- найдено новое инженерное решение (положительное решение по заявке на а.с. № 4796834/33 /153883/) для производства силикатного кирпича и предложено при этом эффективное использование техногенного сырья.

#### Практическая значимость работы:

- предложена рецептура безавтоклавного силикатного кирпича; включая также отходы промышленных производств (кремнегеля, бокситового шлама); ее использование при незначительных капиталовложениях позволяет сократить расход энергии (пара) на тепловлажностную обработку изделий и обеспечить при этом гарантированное качество кирпича по комплексу физико-технических характеристик;
- полупромышленный выпуск безавтоклавного силикатного кирпича на Одесском заводе строительных материалов № I дал экономический эффект 1,42 рубля на тысячу штук кирпича.

#### На защиту выносятся:

- конкретные составы сырьевой силикатной смеси (положительное решение ВНИИГПЭ по заявке на а.с. № 4796834/33 /153883/) для изготовления безавтоклавного силикатного кирпича, позволяющие при его гарантированном уровне качества, утилизировать кремнегель и бокситовый шлам;
- информации о влиянии бокситового шлама и кремнегеля на структурные характеристики силикатного прессматериала - структурную пористость и фазовый состав цементирующей связки;
- комплексная оценка влияния рецептуры силикатного прессматериала на его прочность, водо-, воздухо- и морозостойкость, а также другие физико-механические характеристики;
- результаты экспериментально-статистического моделирования и оптимизации рецептуры и свойств прессматериала при утилизации техногенного сырья.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Всесоюзных и республиканских конференциях и семинарах: по проблеме совершенствования производства стеновых материалов (Бишкек - 1989, 1990 и 1991 гг.), по использованию вторичных ресурсов в строительстве (Челябинск - 1990 и 1991 гг.), по внедре-

нию передовых технологий в строительной индустрии (Саранск - 1989, Алма-Ата - 1990, Новосибирск - 1991), по применению достижений физико-математических наук в материаловедении (Одесса - 1990, 1991 гг.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 9 работ.

Объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов (156 страниц основного текста) и списка использованной литературы; она содержит 27 рисунков, 17 таблиц, 1 приложение.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ развития исследований силикатных материалов показал, что важнейшей тенденцией в этой области является изучение возможности применения техногенных вторичных продуктов промышленности в качестве основного сырья. В основном использование такого сырья предопределяется аморфной и нестабильной кристаллической структурой, обеспечивающей его высокую реакционную способность, что позволяет во многих случаях интенсифицировать технологические процессы или сократить материальные и топливно-энергетические затраты.

Высококонцентрированные дисперсные системы с развитой межфазной поверхностью в связи с большим уровнем избыточной поверхностной энергии характеризуются самопроизвольным образованием пространственных структур, которые определяют основные для них структурно-механические свойства. Образование пространственных структур в таких системах связано непосредственно с атомными или коагуляционными контактами. Механизм отвердевания дисперсных систем, представленных фазами аморфной и нестабильной кристаллической структурой обусловлен тем, что дисперсные системы в таком состоянии обладают контактно-конденсационными свойствами, т.е. при сближении частиц образуются фазовые контакты срастания. Поскольку вещества, находящиеся в нестабильном состоянии обладают избыточной энергией, то она в большей степени проявляется при их конденсации в виде сил притяжения.

С учетом вышеизложенного используемые в работе техногенные продукты промышленности, представленные частично гидратированными соединениями аморфной и нестабильной кристаллической структурой рассматриваются как материалы, обладающие потенциальными

свойствами, характерными для материалов контактно-конденсационного твердения. При этом в стесненных условиях (при прессовании) возможно образование структуры с истинными фазовыми контактами; процесс "спекания" частиц может происходить за счет самодиффузии гидратированных частиц в местах контакта, также за счет растворения кристаллов в жидкой фазе и кристаллизации ее в местах контакта.

Исследуемая силикатная композиция включает такие вторичные продукты суперфосфатного и глиноземного производств как кремнегель и бокситовый шлак. Кремнегель представлен в основной аморфной формой кремнезема частицы которого после его нейтрализации обволакивают низкоосновные гидросиликаты типа  $CSH(B)$ . Бокситовый шлак имеет сложный состав и представлен частично гидратированными мелкокристаллическими двухкальциевым силикатом, алюминатами, ферритами кальция. Железо входит в состав шлама в виде оксидов и гидроксидов. При оптимизации рецептуры безавтоклавного силикатного прессматериала с использованием отходов промышленности (кремнегеля и бокситового шлама) исходили из следующих предположений. Наличие в составе кремнегеля и бокситового шлама частично гидратированных соединений указывает на их способность в стесненных условиях к контактно-конденсационному твердению с сохранением химического своеобразия фаз; в качестве кремнеземистого компонента вяжущего может быть использован реакционноактивный кремнегель; при использовании эффекта гидратационного твердения извести, а также из-за наличия вяжущих минералов в бокситовом шламе формирование структуры прочного и водостойкого камня, может осуществляться при атмосферном давлении и температуре ниже  $100^{\circ}C$ ; введение гипса позволит снизить температурные и объемные деформации при гашении извести, а также будет способствовать активному вовлечению в реакцию составляющих бокситового шлама и формированию при определенной щелочности среды комплексных малодиссоциированных соединений.

Оптимизацию рецептуры и свойств безавтоклавного силикатного прессматериала при утилизации техногенных продуктов промышленности, оказывающих разнообразное влияние на его свойства, целесообразно проводить с помощью экспериментально-статистического моделирования и вычислительной техники. Поскольку оптимизируется состав композиционного материала и уровень априорной информации не высок, то было принято решение планировать эксперимент так, чтобы

он охватил широкий спектр сырьевых компонентов и помог ориентировочно оценить роль каждого рецептурного фактора, гипотетически влияющего на качество материала. Для этого уровни варьирования при планировании эксперимента были выбраны таким образом, чтобы нижний уровень добавочных компонентов соответствовал их нулевой концентрации.

На первом рабочем этапе исследований в качестве рецептурных факторов были выбраны: доля извести в смеси с кремнегелем  $X_1 = 30 \pm 10\%$ , доля гипса  $X_2 = 2 \pm 2\%$ , доля цемента  $X_3 = 5 \pm 5\%$ , доля молотого бокситового шлама  $X_4 = 5 \pm 5\%$ , доля щелочного компонента отхода капролактамового производства  $X_5 = 0,6 \pm 0,6\%$ . Влажность сырьевой смеси 9...10%. Тепловластная обработка прессобразцов проводилась при температуре 95...98°C по режиму 2 + 10 + 2 ч. Критериями оптимизации на рабочем этапе исследований были выбраны: прочность на сжатие  $R_{сж} \geq 10$  МПа и коэффициент размягчения  $K_p \geq 0,75$ . Расчет коэффициентов моделей и их регрессионный анализ проводились по разработанной в ОИСИ системе "СОМПЕХ".

$$R_{сж} = -14,06 + 1,36x_1 - 0,69x_1x_3 - 0,4x_1x_4 - 0,4x_1x_5 - \\ - 1,45x_2 - 0,48x_2x_4 + \\ + 2,58x_3 - 3,37x_3^2 - 0,26x_3x_4 - \\ - 1,44x_4 + 0,87x_4^2 - \\ - 0,97x_5 + 1,03x_5^2. \quad (1)$$

$$(L_n K_p) \cdot 10^2 = -36,4 - 4,5x_1 - 1,7x_1x_2 + 5,5x_1x_4 - \\ - 21,5x_2^2 + 4,1x_2x_4 - 3,9x_2x_5 + \\ + 3,3x_3 + 2,6x_3x_5 + \\ + 8,4x_4 - \\ - 3,1x_5 + 6,0x_5^2. \quad (2)$$

Влияние каждого рецептурного фактора на выходные параметры прессматериала определялось по однофакторным моделям при фиксации остальных рецептурных факторов на оптимальных уровнях. Предварительный анализ однофакторных моделей показал, что для обеспечения максимальной прочности материала  $R_{сж} = 20$  МПа содержание извести и цемента должно составлять в безбокситовой смеси 8% и 8%, однако коэффициент размягчения при этом составит лишь

$K_p = 0,52 \dots 0,62$ . Максимальное значение коэффициента размягчения  $K_p = 0,82$  обеспечивается при наличии бокситового шлама 10% и гипса 2...3%, а содержание извести должно стремиться к минимуму.

Для установления комплексного воздействия добавочных компонентов на свойства прессматериала в качестве эталонного состава был взят такой его состав, где вяжущим являлась смесь извести и кремнегеля, т.е. при нулевом содержании добавок  $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = 0\%$  ( $x_2 = x_3 = x_4 = x_5 = -1$ ). Эталонный прессматериал при повышенном содержании извести (8%) имеет прочность 16 МПа, однако, коэффициент размягчения составляет  $K_p = 0,5$ . Такое низкое значение  $K_p$  в начальный период указывает на необходимость введения добавочных компонентов, обеспечивающих водостойкость и соответственно долговечность материала.

При анализе коэффициентов моделей и их графических образов установлено, что при введении в состав сырьевой смеси бокситового шлама на уровне 10% ( $x_4 = 1$ ) и оптимального количества гипса 2% ( $x_2 = 0 \dots 0,5$ ); появляется область рецептур, где выполняются условия по основным критериям оптимизации  $R_{сж} \geq 10$  МПа и  $K_p \geq 0,75$ . Обязательное наличие в рецептуре прессматериала оптимального количества гипса 2...3% подтверждает предположение о комплексном воздействии на силикатную систему гипса. Во-первых, играя роль тормозящего агента гашения извести, он способствует сохранению коагуляционной структуры; таким образом, скорость схватывания приводится в некоторое соответствие со скоростью твердения силикатной системы. Во-вторых, добавка гипса существенно интенсифицирует процесс взаимодействия оксида кальция с кремнеземом, а также активизирует бокситовый шлам. Оптимальной для гипса была принята концентрация 3% и при переходе с рабочего этапа исследований к этапу уточнения добавка гипса фиксировалась на 3%. Уровень остальных факторов был скорректирован по следующим соображениям. Добавка отхода капролактамового производства как щелочного компонента существенного влияния на свойства не оказала и поэтому в дальнейшем не вводилась; бокситовый шлам повышает значение коэффициента размягчения и поэтому уровень варьирования его был расширен до 20%; для обеспечения водостойкости безавтоклавного прессматериала добавка цемента должна составлять около 8%.

Для уточнения влияния кремнегеля и бокситового шлама в совокупности с другими компонентами сырьевой смеси на комплекс фи-

зико-технических свойств на втором рабочем этапе был реализован эксперимент по плану В<sub>3</sub>. Барьеровались доли извести в смеси с кремнегелем  $X_1 = 30 \pm 10\%$ , а также доли бокситового шлама  $X_2 = 10 \pm 10\%$  и цемента  $X_3 = 4 \pm 4\%$  в общей массе сырьевой смеси.

Комплекс критериев – выходных параметров был расширен; исследовались сырьевая прочность на сжатие и изгиб затвердевшего прессматериала, водопоглощение, средняя плотность, водо-, воздухо- и морозостойкость, адгезионная прочность, теплозащитные характеристики.

Анализ коэффициентов трехфакторной квадратичной модели прочности на сжатие и ее графического образа (рис. 1.а) позволил установить, что оптимальным можно считать содержание бокситового шлама от 5 до 15%; при его содержании 10% достигается максимальная прочность 15,5 МПа. Содержание остальных компонентов составляет: известь 4...5,5%, кремнегель соответственно 14,5...16%, цемент 3...8%, гипс 3%. Существенное влияние на прочность прессматериала оказывают известь и цемент. При максимальном содержании цемента 8%, количество извести должно быть уменьшено; при увеличении количества извести содержание цемента необходимо снизить. На это также указывал и отрицательный знак коэффициента взаимодействия между первым и третьим фактором, такое технологическое решение, по видимому, связано с тем, что при гидратации цемента выделяется дог-длительное количество извести и нарушается ее равновесная концентрация в силикатной системе.

При анализе изоповерхностей коэффициента размягчения (рис. 1.б) установлено, что при повышении содержания бокситового шлама от 5 до 20% резко расширяется область рецептур, где выполняются условия  $K_p \geq 0,75$ . С учетом влияния добавки бокситового шлама на прочность прессматериала изменение коэффициента размягчения в зависимости от его рецептуры целесообразно рассматривать в пределах 5...15%. Таким образом выделена область рецептур (рис. 1.в) при которых выполняются условия  $R_{сж} \geq 10$  МПа,  $K_p \geq 0,75$ ; именно в этой области в дальнейшем исследованы все остальные качественные показатели прессматериала.

Комплексные испытания на водо- и воздухоустойкость показали, что наиболее стойким к длительному действию воды оказался прессматериал с минимальным содержанием извести 4...5% при кремнегеле 14...15% и бокситовом шламе 10...15%. При длительном хранении образцов оптимального состава наблюдается рост прочности в

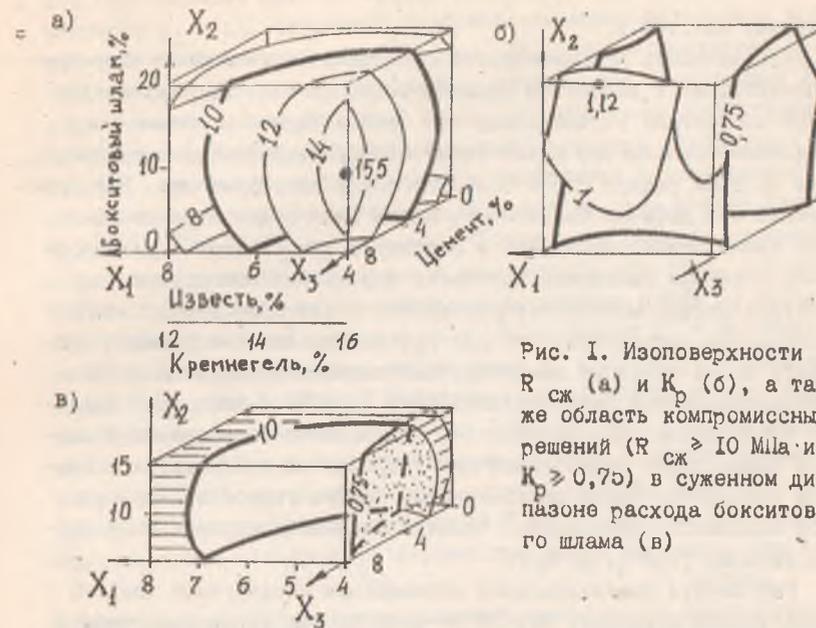


Рис. 1. Изоповерхности  $R_{сж}$  (а) и  $K_p$  (б), а также область компромиссных решений ( $R_{сж} \geq 10$  МПа и  $K_p \geq 0,75$ ) в суженном диапазоне расхода бокситового шлама (в)

естественно сухих условиях на 30% и в воде почти вдвое. Соотношение гелевых и кристаллических фаз безавтоклавного силикатного прессматериала будет меняться по мере его твердения, происходит более глубокая гидратация двухкальциевого силиката, входящего в состав бокситового шлама, который, как известно, является медленно гидратирующимся минералом. Результаты испытания прессматериала на воздухоустойкость (циклическое увлажнение и высушивание) показали, что для прессматериала оптимального состава существенного изменения прочности прессматериала не наблюдается. Продукты гидратации в процессе непрерывного образования коагулируют трещины, устраняют дефекты, уменьшают капиллярную пористость.

Другой нормируемой характеристикой оценки долговечности является морозостойкость. Результаты испытания прессматериала различной рецептуры на морозостойкость показали, что наименьшее изменение прочности после 25 циклов замораживания и оттаивания  $\Delta K_{мрз} = 15\%$  наблюдается у образцов с содержанием бокситового шлама 10...15%, но при оптимальном содержании извести не более 6%. Без добавки бокситового шлама изменение прочности после испытаний

составляет 35...45 %.

Долговечность прессматериала определяется также его структурной пористостью и качеством цементирующей связки. По результатам ртутной порометрии установлено, что прессматериал с оптимальным содержанием бокситового шлама имеет меньшую капиллярную пористость, меньше средний радиус пор и больше условно замкнутых пор. Для прессматериала без добавки бокситового шлама выше общая пористость и больше капиллярная пористость и поэтому в нем сильнее будет проявляться механизм изменения прочности в условиях эксплуатации. Результаты дифференциально-термического и рентгенофазового анализов позволили установить, что для прессматериала без добавки бокситового шлама основным цементирующим веществом является плохо закристаллизованные гидросиликаты типа  $C_2SH(B)$  и небольшое содержание тоберморита. Для материала с оптимальным содержанием бокситового шлама линии характерные для гидросилката  $C_2SH(B)$  и тоберморита становятся более интенсивными. Помимо гидросиликатов различной основности наблюдается наличие гидроалюминатов и гидроферритов кальция ( $C_3AH_6$ ,  $C_3FH_6$ ).

Результаты индивидуальной оптимизации исследуемых свойств прессматериала показали, что не во всех точках факторного пространства они соответствуют принятым критериям качества. Оптимальной рецептурой для всех свойств является состав при содержании бокситового шлама 10 %. При фиксировании этого фактора на  $x_2 = 0$  (10 %)

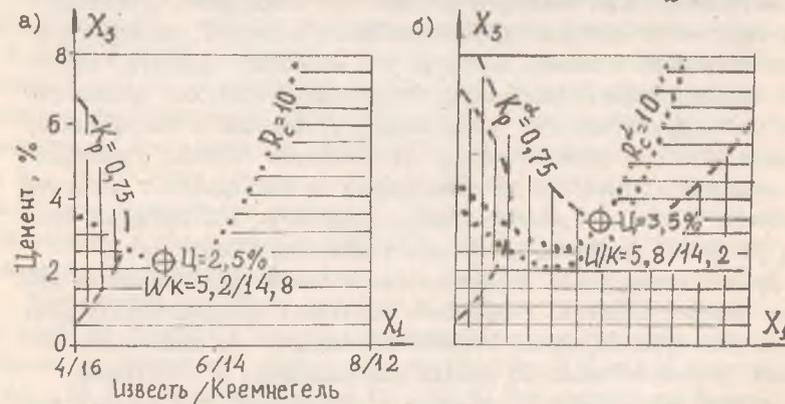


Рис. 2. Допустимые решения при выполнении требований  $R_{ck} \geq 10$  МПа и  $K_p \geq 0,75$  по средним (а) и гарантированным (б) уровням качества

для ряда моделей были построены плоские номограммы в координатах факторов  $x_1$  и  $x_3$ . Используя графоаналитический метод была выделена зона компромиссных решений (рис. 2), где прессматериал обладает набором требуемых эксплуатационных свойств как в начальные так и в длительные сроки. Из рис.2 видно, что основными свойствами ограничивающими область допустимых решений является коэффициент размягчения и прочность после 25 циклов увлажнения и высушивания. Надежность выбора состава материала повышается, если вместо диаграмм  $K_p$ ,  $R_{увл.выс.} = f(x_1, x_3)$  при  $x_2 = 0$  изменения средних построить диаграммы гарантированных уровней показателей качества. Для этого с учетом среднеквадратичных ошибок предсказания плана  $V_3$  построены при гарантированном уровне  $1 - \alpha = 95\%$  изолинии  $K_p$  и прочности после 25 циклов увлажнения и высушивания  $R_{ck}$  (рис. 2.б) и получена область, где риск получения материала, не удовлетворяющего техническим требованиям снижается с 50 до 5 %. При этом площадь допустимых значений рецептур с гарантированным уровнем качества уменьшается, а координата точки минимального расхода цемента смещена с 2,5 до 3,5 %. Рецептура (содержание гипса 3 %) и свойства прессматериала представлены в таблице 1. Средняя плотность материала изменяется

Таблица 1

Рецептура и свойства безавтоклавного силикатного прессматериала

Известь	Содержание компонентов, %				Показатели качества					
	кремнегель	цемент	бокситовый шлам	песок-заполнитель	прочность на сжатие, МПа	прочность на изгиб, МПа	коэффициент размягчения, $K_p$	водопоглощение, %	изменение прочности после 25 циклов на $M_{25}$	прочность после 25 циклов увл. выс., МПа
4	16	8	10	59	14	2,7	0,81	8	20	18
4,5	15,5	7	5	55	14	2,8	0,75	8	25	16
4,5	15,5	6	15	56	13	2,7	0,82	9	22	14
4,8	15,2	5	15	57	12	2,6	0,81	9	22	13
5	15	3,5	5	68,5	10	2,3	0,75	8	25	10
5	15	3,5	10	63,5	12	2,5	0,76	8	25	11
5	15	6	10	61	13	2,8	0,76	8	20	16
5,5	14,5	7	10	60	13	2,8	0,90	8	18	16
5,5	14,5	3,5	15	58,5	11	2,5	0,80	9	20	11

от 1870 до 1950 кг/м<sup>3</sup>, сырьевая прочность от 2,2 до 3,6 МПа, адгезионная прочность от 1,8 до 2,2 МПа.

Технология приготовления безавтоклавного силикатного кирпича на основе разработанных составов отличается от традиционной автоклавной не только тем, что здесь предусматривается использование кремнегеля и бокситового шлама, но и тем, что значительно сокращается технологический цикл и сокращается расход пара (40 %), а аппарат периодического действия (автоклав) заменяется аппаратом непрерывного действия (туннельной или цеховой камерой).

Апробирование разработанных рецептурно-технологических решений осуществлено на Одесском заводе стройматериалов № 1, где выпущена опытно-промышленная партия безавтоклавного силикатного кирпича, который соответствовал марке I25 по ГОСТ 379-79. Полученный безавтоклавный силикатный кирпич с использованием кремнегеля и бокситового шлама отличался от силикатного красно-коричневым цветом и более высокой сырьевой и адгезионной прочностью. Экономический эффект, при его изготовлении в условиях цеха силикатного кирпича Одесского завода стройматериалов № 1, рассчитанный на основании результатов выпуска опытно-промышленной партии, составил 1,42 рубля на тысячу штук кирпича.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения качественного безавтоклавного силикатного кирпича с использованием кремнегеля и бокситового шлама, обладающих потенциальными контактно-конденсационными свойствами.
2. Кремнеземсодержащий вторичный продукт суперфосфатного производства – кремнегель представлен в основном аморфной формой кремнезема. Бокситовый шлам – вторичный продукт глиноземного производства представлен в основном мелкокристаллическими частично гидратированными соединениями ( $C_2S$ ,  $CA$ ,  $CF$ ). Часть железа входит в состав шлама в виде оксидов и гидроксидов.
3. Установлено, что добавка бокситового шлама оказывает положительное влияние на формирование поровой структуры силикатного прессматериала, вызывая перераспределение пор в сторону увеличения условно замкнутых пор. При его оптимальном содержании повышается водо- и морозостойкость прессматериала.
4. Показано, что при использовании кремнегеля как кремнеземистого

компонента вяжущего и эффекта гидратационного твердения извести формирование структуры прочного и водостойкого камня может происходить при температуре 95...98°C. Полученный с использованием кремнегеля прессматериал обладает повышенной адгезионной прочностью.

5. Для устранения деструктивных процессов при гашении извести и для активного вовлечения в реакцию минеральных составляющих бокситового шлама необходимо введение гипса. Для обеспечения удовлетворительной воздухоустойкости – необходимо введение не менее 3,5 % цемента.
6. Фазовый состав цементирующей связки безавтоклавного силикатного прессматериала оптимального состава представлен в основном кристаллическими сростками и гелем гидросиликатов кальция различной основности ( $CSH(B)$ ,  $C_2SH_2$ ), гидрогранатами и гидроферритами кальция ( $C_3AH_6$ ,  $C_3FH_6$ ).
7. Многокритериальная оценка качества безавтоклавного силикатного прессматериала позволила выявить оптимальные области рецептур, где обеспечиваются хорошие водо-, воздухо- и морозостойкость.
8. По результатам индивидуальной оптимизации определена зона компромиссных решений, в которой прессматериал обладает гарантированным уровнем качества по комплексу требуемых эксплуатационных свойств.
9. Выпуск опытно-промышленной партии безавтоклавного силикатного кирпича с использованием кремнегеля и бокситового шлама подтвердил возможность его получения по предлагаемой технологии. Экономический эффект при его изготовлении с использованием техногенных продуктов составил 1,42 рубля на одну тысячу штук кирпича.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Джусупова М.А. О возможности получения безавтоклавного силикатного кирпича на основе активного кремнеземсодержащего вторичного продукта промышленности // Влияние региональных природноклиматических факторов на организованный и технико-экономические особенности строительства в Кирг. ССР: Тез. докл. конф. – Фрунзе, 1989 – С. III.

2. Джусупова М.А., Шинкевич Е.С. Использование аморфного кремнезема в силикатных материалах // Научные исследования и их внедрение в строительной отрасли / получение бетонов по задельной технологии, долговечность строительных материалов и конструкций:

Тез.докл.конф. - Саранск, 1989. - С. 105.

3. Джусупова М.А., Барабаш И.В., Шинкевич Е.С. Экспериментально-статистическое моделирование в производстве строительных материалов с использованием дисперсных отходов промышленности //Экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация композиционных материалов. - Киев: УМК ВО, 1990 - С. 117-124.

4. В.А.Вознесенский, М.А.Джусупова Оценка влияния рецептурных факторов на комплекс свойств силикатного прессматериала безавтоклавного твердения //Проблемы совершенствования производства стеновых материалов и повышения сейсмостойкости зданий: Тез.докл. республ.конф. - Фрунзе, 1990 - С. 25.

5. Джусупова М.А. Оптимизация рецептуры и свойств силикатного кирпича на основе техногенного сырья химической промышленности //Научно-технический прогресс в технологии строительных материалов: Тез.докл.респ.конф. - Алма-Ата, 1990 - С. 101.

6. Е.С.Шинкевич, М.А.Джусупова. Анализ влияния рецептурных факторов на водостойкость силикатного кирпича для малоэтажного сельского строительства //Повышение долговечности сельскохозяйственных зданий и сооружений: Тез.докл.Всесоюз.конф. - Челябинск, 1990 - С. 129.

7. Джусупова М.А. Влияние добавки бокситового шлама на комплекс свойств безавтоклавного силикатного прессматериала //Использование вторичных и местных материалов в сельском строительстве: Тез.докл.Всесоюз.конф. - Челябинск, 1991 - С. 70-71.

8. Джусупова М.А. Влияние добавки бокситового шлама на поровую структуру силикатного прессматериала //Материалы, технологии, экономика и организация строительства: Тез.докл.конф. - Новосибирск, 1991. - С. 12.

9. Керш В.Я., Джусупова М.А. Оценка теплопроводности безавтоклавного силикатного прессматериала. //Проблемы совершенствования стеновых материалов с целью индустриализации строительства и повышения сейсмостойкости зданий: Тез.докл.конф. - Бишкек, 1991 - С.32.

Подлг печати 18.10.91г. Формат 80x84 1/16.  
Объем 0,7уч.изд.л. 1,0пл. Заказ №34922. Тираж 100экз.  
Гортипография Омского облполиграфиздата, цех №3.  
Ленина 49.