

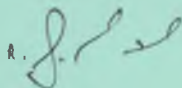
2009-64

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА АРХИТЕКТУРЫ  
ИМ. Н. ИСАНОВА**

**Диссертационный совет Д 05.07.361**

**На правах рукописи  
УДК 666.712:691.42**

**Жолболдуев Памирбек Бакыевич**



**РАЗРАБОТКА МАЛОЭНЕРГОЕМКОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА С ПОВЫШЕННЫМИ ФИЗИКО-  
МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ГОРНЫХ ПОРОД.**

**Специальность 05.23.05-строительные материалы и изделия**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**БИШКЕК 2009**

Работа выполнена в Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры на кафедре «Производство и экспертиза строительных материалов, изделий и конструкций».

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор Абдыкалыков А.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Соловьев В.И.

доктор технических наук  
профессор Касимов И.К.

Ведущая организация: КыргызНИИПС строительства

Защита состоится « 19 » июня 2009 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 05.07.361 при Кыргызском государственном университете строительства транспорта и архитектуры (КГУСТА) по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б., ауд. 1/101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КГУСТА.

Автореферат разослан « 8 » мая 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н., доцент

 Л.В. Ильченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В связи с ускорением темпов роста строительства в Кыргызской Республике одной из важнейших проблем является повышение качественных характеристик стеновых материалов для их конкурентоспособности, расширение сырьевой базы и снижение энергоемкости продукции.

Выпуск керамического кирпича на действующих кирпичных заводах осуществляется методом пластического формования, который характеризуется повышенным расходом энергии. Сырьем являются в основном суглинки, изделия из которых зачастую не отвечают требованиям ГОСТа.

Поэтому разработка керамического кирпича по малоэнергоёмкой технологии методом полусухого прессования с повышенными эксплуатационными характеристиками на основе местного сырья с использованием модифицирующих добавок является одной из актуальных проблем.

Одним из аспектов решения этой проблемы является использование гранитных отсевов, отходов угледобычи совместно с базальтовой породой в качестве модифицирующих добавок в производстве керамических стеновых материалов, что обеспечит расширение сырьевой базы, снижение ресурсо- и энергоёмкости и повышение физико-механических характеристик и стойкости изделий к агрессивным средам.

**Цель работы** - разработка малоэнергоёмкой технологии получения керамического кирпича методом полусухого прессования на основе местного сырья и модифицирующих добавок.

### Задачи исследования.

1. Исследовать влияние гранитных отсевов на технологические свойства глинистого сырья различного химико-минералогического состава и изделий на его основе.
2. Оптимизировать составы сырьевых шихт и свойств керамического кирпича из местного сырья с добавкой гранитных отсевов, а также отходов угледобычи и высококальциевых базальтов.
3. Выявить физико-химические особенности структурообразования керамического черепка из сырьевых смесей с модифицирующими добавками (гранитные отсевы, отходы угледобычи, высококальциевые базальты).
4. Разработать оптимальные параметры прессования и построить компрессионные кривые для сырьевых шихт, содержащих зернистые компоненты (гранитные отсевы, высококальциевый базальт).
5. Исследовать физико-механические характеристики кирпича полусухого прессования из местного сырья с модифицирующими добавками.
6. Разработать энергосберегающую технологию производства кирпича методом полусухого прессования с совместным использованием отходов угледобычи и высококальциевых базальтов.
7. Провести апробацию полученных результатов работы в условиях производства и дать технико-экономическую оценку эффективности разработанной технологии.



**Научная новизна:**

- на основе экспериментально-теоретических исследований научно обоснована малоэнергоемкая технология высокопрочного, стойкого к агрессивным средам керамического кирпича полусухого прессования из местного сырья с модифицирующими добавками;

- установлена особенность структурообразования керамического черепка из суглинка с добавкой плавней-отошителей из горных пород, которая заключается в интенсификации жидкостного спекания, упрочняющем воздействии основных составляющих минералов горных пород (гранита, базальта) и вторичных минералов, синтезированных в процессе обжига сырьевой шихты;

- впервые выявлено, что использование высококальциевой базальтовой породы совместно с отходом угледобычи в составе сырьевой шихты способствует повышению количества жидкой фазы и обогащению расплава алюминатной составляющей с последующей кристаллизацией муллита игольчатой структуры и анортита, которые являются армирующими звеньями керамического черепка.

**Достоверность результатов работы.**

Достоверность результатов работы базировалась на экспериментально-теоретических исследованиях и обоснована использованием современных методов математического моделирования с привлечением вычислительной техники, методов физико-химических исследований, сопоставлением сходимостью полученных результатов с опытными данными экспериментальных исследований других авторов.

**Значение для науки и практики.**

Разработана энергосберегающая технология производства керамического кирпича методом полусухого прессования на основе местных глинистых пород с использованием модифицирующих добавок (гранитные отсевы, высококальциевые базальтовые породы с отходами угледобычи), обеспечивающая получение изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками и стойкостью к агрессивным средам.

Результаты проведенных исследований позволяют решить организацию выпуска кирпича по разработанной технологии в любом экономическом районе, что обеспечит потребность строительства в стеновых материалах, стойких к агрессивным средам.

Использование гранитных отсевов, высококальциевой базальтовой породы совместно с отходами угледобычи в производстве кирпича методом полусухого прессования позволит снизить себестоимость продукции, обеспечить потребность в материалах, стойких к агрессивным средам, и будет способствовать попутному решению экологической проблемы охраны окружающей среды.

**На защиту выносятся:**

- оптимальные составы сырьевых шихт с использованием модифицирующих добавок (гранитные отсевы, высококальциевая горная

порода совместно с отходами угледобычи), на основе которых получен высокопрочный, стойкий к агрессивным средам кирпич;

- технологические режимы прессования и компрессионные кривые для сырьевых шихт, содержащих зернистые компоненты (гранитные отсевы, высококальциевый базальт);

- механизм процесса структурообразования керамического черепка на основе сырьевых шихт с содержанием модифицирующих добавок (гранитные отсевы, высококальциевый базальт совместно с отходами угледобычи);

- энергосберегающая технология производства кирпича методом полусухого прессования на основе модифицированных сырьевых смесей.

**Личный вклад соискателя** заключается в проведении экспериментальных работ по исследованию используемого сырья, разработке ресурсо- энергосберегающей технологии производства кирпича в промышленных условиях.

**Апробация работы.**

Основные результаты работы были доложены и обсуждены на научно-технических конференциях: Международной научно-технической конференции ППС КГУСТА, посвященной году гор (Бишкек, 2002); Международной научно-практической конференции научно-педагогических сотрудников университета. (Бишкек, 2006); Международной научно-практической конференции «Надежность подвижного состава и транспортных систем», посвященной 30-летию кафедры «Вагоны». (Алматы, 2006); Инновационно-инвестиционном форуме «Наука и инновации на железнодорожном транспорте». (Алматы, 2007); Международной научно-технической конференции (Россия, Пенза, 2007); Научном семинаре по проекту # КР-548 «Композиционные материалы на основе базальтовых волокон» (Бишкек, 2007) и др. Образцы кирпича, полученного по разработанной технологии, выставлялись на стендах выставки в выставочном комплексе «Интеллектуальные ресурсы-2004» (Бишкек, 2004).

Результаты исследований подтверждены лабораторными и производственными испытаниями, которые проводятся в рамках развития науки и техники и новых технологий в КР и по плановой научно-исследовательской тематике кафедры «Производство и экспертиза строительных материалов и конструкций» КГУСТА. По результатам диссертационной работы опубликованы научные статьи, доклады, выпущены методические указания для выполнения лабораторно-практических работ.

**Внедрение основных положений и результатов исследований** произведено в А/О «Ийгилию» (Беловодский кирпичный завод), научно-исследовательском проектно бюро «Кыргызреставрация».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 научных статей, в т.ч. 5 - в печатных изданиях России, Казахстана.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, списка использованной литературы из 147 наименований, в т.ч. 10 на иностранном языке. Текстовая часть изложена на 152 страницах В работе содержатся 33 таблицы, 33 рисунка.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** раскрывает актуальность и перспективность использования модифицирующих добавок из отходов горных пород в производстве керамического кирпича, что обуславливает снижение температуры обжига и повышение его эксплуатационных характеристик.

**Первая глава** посвящена анализу вопроса энерго- и ресурсосбережения в технологии строительной керамики и повышения ее физико-механических характеристик, которые рассматривались в многочисленных исследованиях.

Экономически эффективным и приоритетным в производстве стеновых материалов является технология полусухого прессования. Однако ввиду особенностей лессовидных суглинков, которые являются основным сырьем в центральноазиатском регионе, применение способа полусухого прессования возможно при использовании добавок, модифицирующих как свойства шихты, так и процесс структурообразования керамического черепка.

Неоценимый вклад в технологию и теорию структурообразования керамического кирпича на лессовых суглинках внесли отечественные и зарубежные ученые П.И.Баженов, А.А.Балакирев, М.Г.Лундина, М.И.Роговой, И.И.Мороз, С.Г.Караханиди, А.С.Мавлянов, С.Ж.Сайбулатов, А.А.Абдыкалыков и др.

Анализ литературных источников и исследований современных и зарубежных ученых по состоянию проблемы повышения эксплуатационных характеристик кирпича позволил сформулировать рабочую гипотезу исследований: использование в составе сырьевых шихт из лессовых суглинков и пластичных глин отходов камнеобработки и совместное использование высококальциевых базальтовых пород с отходами угледобычи позволит повысить консолидационную способность керамической шихты при полусухом прессовании за счет корректирования гранулометрического состава ее компонентов, а также интенсификации образования более плотного и прочного керамического черепка за счет углубления жидкофазного спекания и синтеза более прочных новообразований.

**Во второй главе** дается комплекс свойств сырьевых материалов, используемых в работе: пластичные глины Кызыл-Суу, Сары-Булак, суглинки Беловодского, Пржевальского месторождений, «Баш-Кара-Суу», отличающиеся как по химическому, минералогическому, гранулометрическому составу, так и по основным технологическим свойствам. В качестве отощающей добавки, зернистого компонента и модифицирующих добавок были использованы отходы угледобычи Кара-Кечинского месторождения, базальт Сулу-Терек с высоким содержанием кальцита, отсеvy гранита, получаемые при изготовлении каменных изделий.

Местные лессовидные суглинки характеризуются высокой карбонатностью (до 10 %), дисперсностью (пылеватых фракций, 0,05-0,005 мм, 70-80 %), высоким содержанием солей и каолинит-гидрослюдистым минеральным составом. Пластичные глины по минеральному составу являются

каолинитово-гидрослюдистыми с небольшим содержанием монтмориллонита; частиц менее 0,01 мм в пределах 48-55 %.

В качестве плавней и отощителей используются отсеvy гранита и отходы угледобычи совместно с миндалевидным базальтом, характеризующимся высоким содержанием кальцита (10-20 %), которые подвергаются тонкому измельчению до полного прохождения через сито 0,16 мм. Базальт представлен плагиоклазом (64 %), а остальное - стекло, оливин, пироксен, хлорит.

Отходы угледобычи содержат 16-18 % остаточного угля, поэтому его использование способствует снижению расхода топлива для обжига и образованию восстановительной среды в теле кирпича, что является позитивным фактором обжига кирпича полусухого прессования. По минеральному составу он представлен в (%): глинистые минералы - 12, кварц - 24; полевые шпаты - 15; карбонаты - 20; оксиды железа - 4.

В исследованиях использованы химический, рентгенографический, электронно-микроскопический, дериватографический методы анализа. Исследование свойств сырья и обожженных образцов производилось согласно действующей технической документации. Построение компрессионных кривых для сырьевых шихт нового состава производилось с использованием специального стенда. Оптимизация составов сырьевых шихт проводилась с использованием экспериментально-статистического моделирования.

**Третья глава** посвящена разработке и исследованию свойств сырьевых шихт, содержащих в качестве модифицирующих добавок отходы камнеобработки, угледобычи и высококальциевую базальтовую породу, химико-минералогический состав которых послужил обоснованием для их использования при условии их активации, что способствует повышению качественных характеристик изделий. В процессе исследований использовалась механо-химическая активация путем тонкого измельчения отходов камнеобработки в присутствии 0,5-1 % пластифицирующей добавки С-3, которая одновременно является интенсификатором помола.

Выявлено влияние гранитных отсеvов (10-80 %) на технологические свойства глиномассы и спекаемость керамического черепка из различного глинистого сырья. Это позволило установить, что при производстве кирпича методом полусухого прессования на основе суглинков использование свежемельченых отходов гранитных отсеvов до 20-30 % способствует повышению консолидационной способности шихты за счет адсорбции пылеватых и глинистых частиц к поверхности зерен гранита и склеивания глинистыми частицами песчаных и гранитных зерен, снижению воздушной усадки образцов.

Максимальная прочность 23,2 МПа достигается при содержании добавки 30 %, так как происходит воздействие составляющих гранита на жидкостное спекание с образованием промежуточных соединений, способствующих интенсификации структурообразования черепка. С повышением добавки до 40 % происходит некоторое повышение жидкой фазы за счет диффузии щелочных и щелочноземельных оксидов на границе контактов частиц суглинка и отсева и изменение качественного состава кристаллической фазы (рис. 1).





Рис. 1. Кривые прочности и плотности керамического черепка с различным содержанием добавок: 1, 3 – из суглинка; 2, 4 – из пластичной глины

Плотность черепка повышается по мере повышения количества добавки, так как образование точечных расплавов способствует уплотнению структуры черепка.

Максимальная прочность керамического черепка из пластичной глины (32,0 МПа) также достигается при содержании гранитных отсевов 30 %, т.е. прочность увеличивается в 1,4-1,5 раза. При таком количестве добавки обеспечивается оптимальная упаковка структуры при прессовании, так как глинистая составляющая служит как бы клеем для консолидации зерен гранита в монолит. При температуре 1000 °С кристаллическая фаза обожженных образцов с добавкой гранита представлена системой кварц-кristобалит-анортит-муллит. При этом синтезированные минералы, переплетаясь с каркасом структуры, с которым скрепляются в точках, где образовались микрорасплавы, упрочняют черепок, повышая его прочность. При этом заметно снижается плотность черепка за счет повышения пористости, образуемой межзерновыми пустотами зернистой составляющей.

При дальнейшем повышении добавки (50-70 %) происходит некоторое снижение прочности, так как структурообразование черепка в основном обусловлено гранитной составляющей. В пределах указанных температур и содержания добавок повышается количество жидкой фазы, где растворяются кварц, кристобалит и частично анортит и происходит качественное изменение кристаллической фазы и повышение плотности.

С использованием пластичной глины гранитные отсевы могут служить основным компонентом сырьевых шихт, так как изделия из смеси с содержанием до 70 % добавки характеризуются прочностью 24,5 МПа, высокой химической стойкостью.

Для достоверности полученных результатов была приведена оптимизация состава шихт на основе суглинка и гранитных отсевов методом экспериментально-статистического моделирования.

В экспериментальных исследованиях варьировали содержание в сырьевой смеси гранитных отсевов  $X_1=10-30$  % и температуру обжига  $X_2=950-1050$  °С.

За критерии оптимизации были приняты  $R_{сж}$  (прочность на сжатие);  $K_p$  (коэффициент размягчения);  $W$  % (водопоглощение черепка).

После реализации расчета были получены математические модели:

$$R_{сж} \text{ (МПа)} = 19,1 + 0,1 \cdot X_1 + 3,6 \cdot X_2 + 0,48 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (1)$$

$$W\% = 16,8 + 0,3 \cdot X_1 - 1,2 \cdot X_2 + 0,8 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

$$K_p = 0,48 + 0,02 \cdot X_1 + 0,03 \cdot X_2 + 0,013 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (3)$$

Анализ математических моделей показывает, что наибольшее влияние на прочность керамического кирпича на основе исследуемых сырьевых масс оказывает температура обжига ( $X_2$ ), с ее повышением уменьшается водопоглощение, повышается его прочность и коэффициент размягчения. Следующим по значимости является ( $X_1$ ); оптимальное содержание гранитных отсевов в составе сырьевой массы при максимальной температуре обжига способствует повышению прочности и коэффициента размягчения.

Оптимальной областью значений исследуемых параметров для получения кирпича из сырьевых смесей, содержащих гранитные отсевы, являются температура обжига 1000-1050 °С и содержание добавки 20-30 %.

Одновременно в качестве отощителя и плавня в составе сырьевых шихт может быть использована базальтовая порода, которая содержит миндалевидный кальцит (10-20 %). При этом для ее активации и гомогенизации она должна быть измельчена. При помоле кальцитсодержащей базальтовой породы на контактной зоне кальцита, содержащегося в виде вкрапленников, на поверхности твердого вещества как базальта, так и кальцита образуются новые поверхности в кристаллах. Кальцитсодержащий базальт при помоле приобретает высокую активность с образованием новых дефектов кристаллов. При помоле в течение 4 часов тонкость помола соответствует полному прохождению через сито 0,16. Причем кальцит измельчается более тонко, и так как ввиду разницы твердости минералов базальт служит абразивом по отношению к кальциту, он равномерно распределяется по массе базальта. Повышению активности базальтовой породы в процессе помола способствует и незначительное содержание ильменита ( $FeTiO_3$ ), в котором, как известно, при измельчении ослабляются связи ионов в его кристаллической решетке, что сопровождается образованием локальных дефектов.

С целью активации всей массы производим совместное измельчение кальцитсодержащего базальта с суглинком в течение 2 ч.

Из сырьевых смесей с различным содержанием базальта (10-80 %) были изготовлены образцы, которые обжигались при 700-1050 °С.

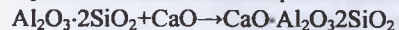
На рис. 3. приведены кривые водопоглощения в зависимости от температуры обжига сырьевых смесей, содержащих различное количество кальцитсодержащего базальта (10-80 %).

По характеру кривых изменения водопоглощения в зависимости от температуры обжига можно судить о физико-химических процессах, протекающих в сырьевых массах. Водопоглощение достигает максимального значения при температуре 900 °С. В пределах температур 840-905 °С происходит разрушение кристаллической решетки глинистых минералов, разложение карбонатов кальция (795-890 °С), что и обуславливает повышение водопоглощения спеков (19,2 %) при 800-900 °С, и прочности 12,6-12,2 МПа.

При температуре 1000-1050 °С водопоглощение достигает 17,84 %.



При этом повышается вероятность образования анортита по реакции:



и повышение прочности (16,4 МПа).

Составы 4, 5 с 40-50 % добавки уже при 1000 °С характеризуются водопоглощением, допустимым для керамического кирпича, так как повышается роль базальтовой составляющей в процессе черепкообразования. Содержание в базальте FeO обуславливает появление точечных расплавов при 730 °С, при 930-980 °С происходит изменение зерен кварца, полевого шпата, образование точечных расплавов.

В спеках, содержащих свыше 60 % добавки, черепкообразование завершается в пределах 900-950 °С.

Кинетика изменения прочности керамических образцов, полученных на основе базальтосодержащих сырьевых шихт (рис. 4), показывает, что у образцов с содержанием до 40 % базальта при 700-800 °С происходит образование метакаолинита ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), уплотнение частиц и образование первичных промежуточных соединений. Так как в составе сырьевой шихты присутствуют щелочи и карбонаты, то образуются двойные соли типа  $\text{R}_2[\text{Ca}(\text{CO}_3)]_2$ .

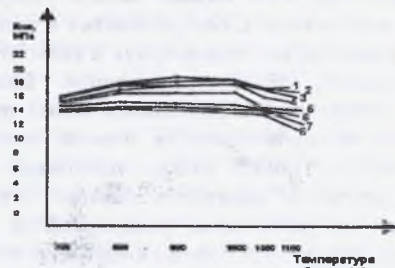


Рис. 2. Влияние температуры обжига на процесс спекания керамического черепка смесей с содержанием кальцитсодержащего базальта, в (%): 1 - 10 %; 2 - 20 %; 3 - 30 %; 4 - 40%; 5 - 50 %; 6 - 60 %; 7 - 70 %; 8 - 80 %

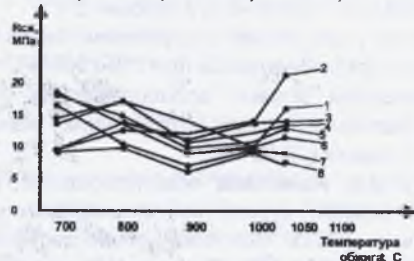


Рис. 3. Влияние температуры обжига на прочность керамического черепка из кальцитсодержащих сырьевых смесей, с содержанием базальта, в (%): 1 - 10 %; 2 - 20 %; 3 - 30 %; 4 - 40 %; 5 - 50 %; 6 - 60 %; 7 - 70 %; 8 - 80 %

При повышении температуры в пределах 800-950 °С снижение прочности обусловлено декарбонизацией, а также плавлением промежуточных соединений типа  $\text{R}_2[\text{Ca}(\text{CO}_3)]_2$  при 780-820 °С, что способствует ускорению низкотемпературных процессов спекания минералов.

При 950-1000 °С идет повышение прочности образцов за счет протекания основных процессов структурообразования черепка: образование анортита ( $\text{SiO}_2$ ), волластонита  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , двухкальциевого феррита ( $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Оптимальная температура обжига сырьевых шихт с содержанием базальта до 40 % составляет 950-1000 °С; а при 50-80 % - 900-950 °С. Максимальная прочность образцов составляет 21,8 МПа при температуре обжига 1050 °С и содержании базальта до 20 %. При этом происходит образование анортита, моноалюмината кальция ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), волластонита ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), двухкальциевого феррита, что обуславливает повышение прочности изделий. Физико-химические исследования сырьевой шихты с содержанием 20 % базальта (рис. 4) характеризуют их структурообразование.

Рентгенограмма сырьевой шихты (рис. 4 (1)) весьма сложная, т.е. в составе шихты содержатся минералы, составляющие суглинок и базальтовую породу.

О фазовых превращениях, протекающих при температурах обжига 700, 800, 900, 1000 °С, можно судить по данным рентгенограмм спеков, обожженных при соответствующих температурах.

Присутствие пироксена в спеках показывает, что этот минерал в пределах указанных температур не претерпевает заметных изменений, несколько обугливаясь по краям.

При температуре 700 °С (рис. 4 (2)) на рентгенограмме спеков отсутствуют отражения, характерные для каолинита, в результате перехода его в метакаолинит. Значительно снижается интенсивность отражения кальцита (3,038). Отражения, характерные для свободной извести, отсутствуют, что связано с началом образования анортита.

При 800 °С (рис. 4 (3)) практически полностью исчезают отражения, характерные для кальцита, значительно увеличивается интенсивность линий анортита. При 900 °С (рис. 4 (4)) появляются отражения с  $d = 2,99, 2,94, 2,88 \text{ \AA}$ , характерные для диоксида, являющегося продуктом взаимодействия оксида кальция и продуктов разложения метакаолинита.

Спеки при температуре обжига 1000 °С (рис. 4 (5)) характеризуются содержанием анортита (4,04; 3,209); пироксена (3,20; 2,89; 1,48; 3,164; 2,903), диоксида (2,88-2,89; 2,55-2,56), гематита. На рис. 5. приведены электронные микрофотографии спеков, обожженных при температуре 1000 °С.

На микрофотографии рис. 5, а отчетливо видны кристаллы анортита в виде призмы; в левом нижнем кристалле захвачены иглы муллита; на рис. 5, б фиксируется сетка длиннопризматических кристаллов анортита в окисленном стекле; на рис. 5, в, г видны пористые кристаллики пироксена.

Для регулирования содержания глинозема, повышения консолидационной способности сырьевых шихт и снижения расхода топлива на процесс обжига совместно с базальтом вводили отходы угледобычи.



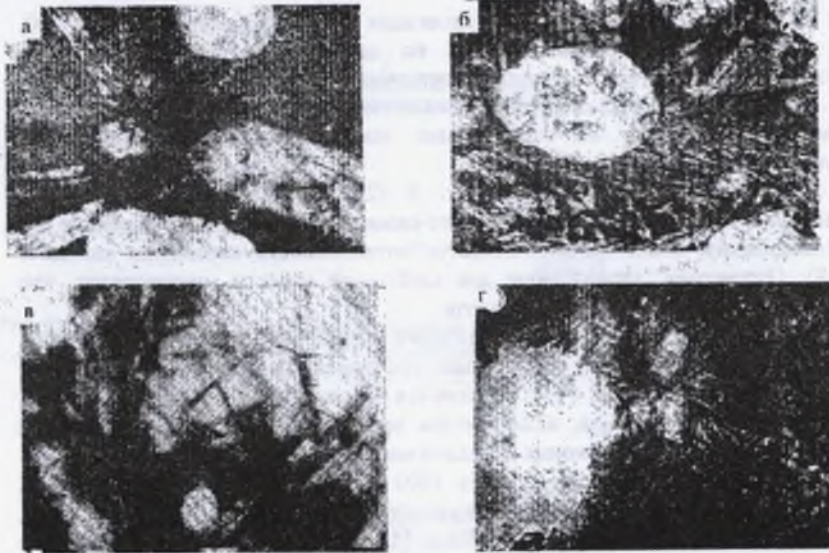
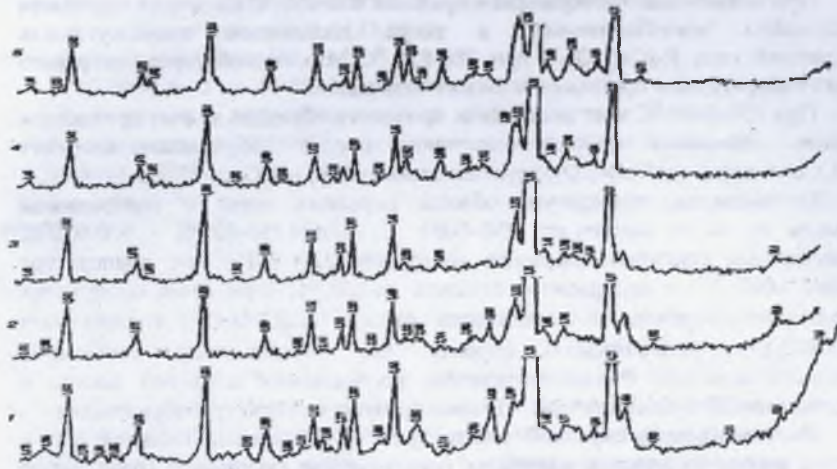


Рис. 5. Электронные микрофотографии спеков, обожженных при температуре 1000 °С

Оптимизация многокомпонентных сырьевых шихт проводилась с применением метода математического планирования эксперимента. Был поставлен трехфакторный эксперимент по плану  $V_3$ . Варьировали три фактора:  $X_1$  (базальт) 10-30 %;  $X_2$  (отход угледобычи) 5-10 %;  $X_3$  (температура обжига)

250-1050 °С. Критериями оптимизации служили: прочность на сжатие  $R_{сж}(Y_1) \geq 15$  МПа; водопоглощение  $18\% \geq W(Y_2) \geq 8\%$ .

После реализации эксперимента были получены математические модели прочности на сжатие  $R_{сж}$  (4.), водопоглощения  $W$  (5.)

$$R_{сж} = 17,2 - 0,22x_1 + 0,53x_1^2 - 0,085x_1x_2 + 0,475x_1x_3 - 0,33x_2 + 1,1x_2^2 + 0,06x_2x_3 + 1,65x_3 - 1,13x_3^2 \quad (4)$$

$$W(\%) = 18,98 - 0,4x_1 + 0,07x_1^2 - 0,463x_1x_2 - 0,688x_1x_3 - 0,005x_2 - 0,53x_2^2 - 0,238x_2x_3 - 0,77x_3 - 0,48x_3^2 \quad (5)$$

Оптимальная область значений рецептур керамического кирпича при температуре 950 °С соответствует критериям оптимизации  $R_{сж} \geq 15$  МПа,  $16 \geq W \geq 8\%$ .

В четвертой главе производится исследование свойств и разработка технологического регламента производства кирпича из базальтосодержащих смесей. Основные физико-механические свойства кирпича, модифицированного отходами из горных пород, характеризуются повышенными значениями.

Модифицирование сырьевой шихты как на основе суглинков, так у пластичных глин гранитными отсевами способствует снижению температуры обжига, повышению физико-механических характеристик кирпича. Прочность кирпича на суглинках достигает 19,7 МПа при температуре 950 °С. Наиболее эффективно воздействуют гранитные отсева на составы из пластичных глин, достигая максимальной прочности 32,0 МПа. Даже при добавке до 70 % прочность изделий составляет 24,0 МПа, поэтому на пластичных глинах добавка может служить основным компонентом.

Кальцитсодержащий базальт также снижает температуру обжига и повышает прочность кирпича. При 20 % добавке  $R_{сж} = 21,8$  МПа.

При совместном воздействии базальта с отходами угледобычи снижается температура обжига (950 °С), расход топлива и прочность достигает (21,1 МПа). Наиболее эффективно указанные отходы воздействуют на повышение морозостойкости до 25-35 Мрз и солестойкости изделий (13-14 циклов).

Производилась разработка рационального режима прессования для состава с содержанием 20 % базальта. Смесь влажностью 4,8 и 12 % загружалась в матрицу. Прессование производилось при удельных давлениях 5,0-30 МПа. Режим прессования – одноступенчатый. Способ приложения прессового усилия односторонний. Замер величины деформации смеси производился в процессе прессования при изменении удельного давления с шагом 2 МПа. На основе проведенных исследований и расчетов был построен график изменения удельного давления прессования от величины относительной деформации.



Оптимальное давление прессования для полусухой смеси составляет 20-21 МПа,  $W=10-12\%$ ;  $n=2,5-7,57$ ; степень сжатия  $K_{сж}=2,2-2,51$ , сырьевая прочность 0,8-2,5 МПа.

На основе расчетно-экспериментальных исследований был разработан режим обжига для шихты, рекомендуемой для внедрения (суглинков 60 %; базальт 30 %; отход угледобычи 10 %).

С учетом составляющих шихты, характеризующихся малой чувствительностью к сушке, и на основе проведенных испытаний была принята скорость подъема температур 30 град./ч в течение 3-4 ч.

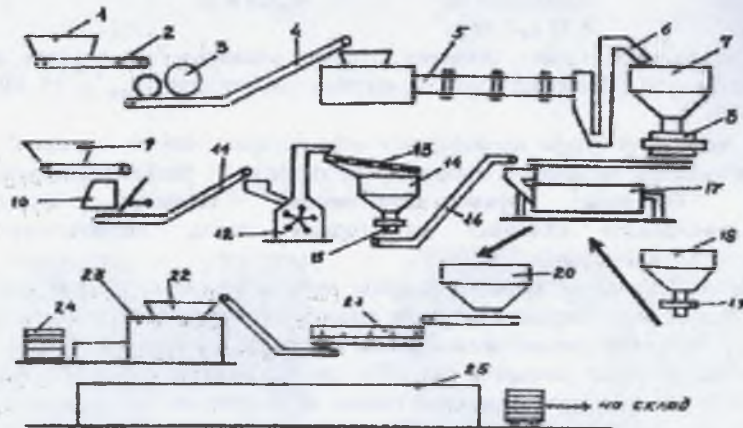


Рис. 6. Технологическая схема производства керамического кирпича методом полусухого прессования: 1 - ящичный подаватель глины; 2 - ленточный транспортер; 3 - дезинтеграторные валцы; 4 - ленточный транспортер; 5 - сушильный барабан; 6 - элеватор; 7 - приемный бункер; 8 - тарельчатый питатель; 9 - приемный бункер базальта; 10 - щековая дробилка; 11 - ленточный транспортер; 12 - молотковая дробилка; 13 - грохот; 14 - приемный бункер; 15 - тарельчатый питатель; 16 - ленточный транспортер; 17 - шаровая мельница; 18 - приемный бункер отхода угледобычи; 19 - тарельчатый питатель; 20 - приемный бункер; 21 - глиносмеситель; 22 - приемный бункер пресса; 23 - пресс; 24 - вагонетки сырца; 25 - туннельная печь

На основе теплофизических и физико-механических свойств черепка были рассчитаны ориентировочный расчет допустимой скорости нагрева в период подъема температуры (150-850 °С). Обжиг завершается при температуре 950 °С.

По результатам экспериментально-теоретических исследований впервые разработана технология производства керамического кирпича из суглинка с использованием кальцитсодержащей базальтовой породы и отхода угледобычи (рис. 6).

В пятой главе приведены результаты испытаний керамического кирпича в промышленных условиях и расчет условной экономической эффективности исследований.

Выпуск опытной партии кирпича был осуществлен по разработанной технологии на А/О «Ийгилик», СРПУ; НИПИ «Кыргызреставрация». Проведение полупромышленных испытаний показало, что совместное использование базальта с отходами угледобычи способствует снижению температуры обжига на 100 °С. Обжиг протекал равномерно, без образования свар. Изделия согласно ГОСТ 530-95 относятся к марке 200, Мрз 35 и характеризуются повышенной солестойкостью, что является основанием для применения их в сооружениях специального назначения.

Экономия топлива составляет 4,5 %.

Экономический эффект составляет 43406 тыс. сом при выпуске 1 млн шт. условного кирпича.

### Общие выводы

На основе проведенных исследований решена актуальная задача в области производства строительных материалов, решены вопросы ресурсо-энергосбережения, конкурентоспособности и расширения сырьевой базы керамических материалов в КР.

1. Впервые разработана энерго-ресурсосберегающая технология керамического кирпича методом полусухого прессования, модифицированного использованием отходов горных пород (базальтовой породы, отсевов гранита и отхода угледобычи), что обуславливает повышение его основных эксплуатационных характеристик (прочности, морозостойкости, солестойкости ( $R_{сж}=18,4-32,0$  МПа, Мрз-25-35,  $K_c=10-14$ циклов).

2. Установлено, что при производстве кирпича методом полусухого прессования на основе суглинков использование свежемельченных гранитных отсевов до 20-30 % способствует повышению консолидационной способности шихты за счет адсорбции пылеватых и глинистых частиц к поверхности свежемельченных зерен гранита и склеивания глинистыми частицами песчаных и гранитных зерен, что обуславливает повышение сырьевой прочности на 20 %, снижение воздушной усадки на 15-20 %, повышение конечной прочности на 20-22 % и повышение солестойкости (11 циклов).

3. При производстве кирпича методом полусухого прессования на основе пластичных глин использование в качестве плавня и отощителя гранитных отсевов до 80 % способствует повышению прочности и снижению температуры обжига на 80-100 °С с образованием кристаллической фазы кварц-кristаболит-гематит, анортит, муллит. Максимальная прочность достигается при содержании 30 % добавки (32,0 МПа), так как обеспечивается оптимальная упаковка структуры при прессовании.



4. Установлено, что оптимальное давление прессования для полусухой керамической смеси, содержащей отсева гранита, базальтовой породы составляет 18-20 МПа при влажности 10-12 %, что обеспечивает сырьевую прочность 0,8-2,5 МПа.

5. Впервые установлена возможность использования в составе керамических масс кальцитсодержащей базальтовой породы до 80 % при условии ее тонкого измельчения, что является предпосылкой для направленного минералообразования с преобладающим содержанием в составе вторичного анортита, обеспечивающего прочность керамическому черепку.

6. Методом экспериментально-статистического моделирования установлено, что совместное использование базальтовой породы и отходов угледобычи в качестве модифицирующей добавки способствует интенсификации жидкостного спекания керамического черепка и направленному минералообразованию (муллита, анортита), что обуславливает снижение температуры обжига на 100-150 °С и повышение эксплуатационных характеристик кирпича. ( $R_{сж} > 20,5$  МПа;  $M_{рз}$  25; солестойкость 13 ц.).

7. Рентгенографические и электронно-микроскопические исследования базальтсодержащих смесей и изделий на их основе позволили установить, что в пределах температур 800-900 °С происходит связывание свободной извести, образующейся в процессе разложения карбонатов с оксидами метаксаолита с синтезом анортита, диопсида; муллита, и некоторое обугливание пироксена, оливина, основных составляющих базальта с сохранением кристаллов в составе спекшегося материала с незначительным содержанием стеклофазы, которая соединяет кристаллы новообразований, что обуславливает повышение эксплуатационных характеристик кирпича.

8. Промышленные испытания по получению кирпича из разработанных, модифицированных базальтом и отходами угледобычи сырьевых шихт показали, что температура обжига снижается на 80-100 °С. При этом полученные изделия характеризуются повышенной прочностью, морозостойкостью и стойкостью к агрессивным средам ( $M$  200,  $M_{рз}$  25, солестойкость 10-13 циклов).

9. Экономический эффект при получении керамического кирпича из базальтсодержащих сырьевых шихт составляет 43406 тыс. сом при условии выпуска 100000 шт. у.к.

#### Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Абдыкалыков А.А., Тентиев Ж.Т., **Жолболдуев П.Б.** Повышение эффективности использования каменных материалов при производстве строительной керамики // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций (КазАТК) им. М. Тынышпаева - Алматы, 2005. - С. 60-64.

2. **Жолболдуев П.Б.** Физико-химические исследования процесса структурообразования базальтсодержащих сырьевых шихт и продуктов спекания // Вестник Восточно-Казахстанского технического университета им. Д.Серикбаева. - Усть-Каменогорск, 2005. - С. 20-24.

3. **Жолболдуев П.Б.** Использование кальцитсодержащего базальта в производстве стеновой керамики // Вестник Восточно-Казахстанского технического университета им. Д.Серикбаева. - Усть-Каменогорск, 2005. - С. 24-28.

4. Абдыкалыков А.А., **Жолболдуев П.Б.** Использование базальтовой породы в производстве стеновой керамики. // Вестник Кыргызского Государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. (КГУСТА) - Вып.4 (14). - Бишкек, 2006. - С. 5-9.

5. Абдыкалыков А.А., **Жолболдуев П.Б.** Спекание базальтсодержащих керамических масс // Вестник Кыргызского Государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. (КГУСТА) - Вып.4 (14). - Бишкек, 2006. - С. 9-12.

6. **Жолболдуев П.Б.** Использование местных природных каменных материалов в производстве строительной керамики. // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева (КазАТК) - № 2. - Алматы, 2007. - С. 26-29

7. **Жолболдуев П.Б.** Оптимизация состава и свойств керамического кирпича из базальтсодержащих сырьевых смесей // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК) - № 6. - Алматы, 2007. - С.155-158.

8. **Жолболдуев П.Б.** Керамический кирпич полусухого прессования из местного сырья: Материалы международной научно-технической конференции. Актуальные проблемы современного строительства. - Россия, Пенза, 2007. - С. 142-147.

9. **Жолболдуев П.Б.** Построение компрессионных кривых для базальтсодержащих керамических масс на основе суглинка // Композиционные материалы на основе базальтовых волокон: Материалы научного семинара по проекту # KR-548. - Б.: Илим, 2007. - С. 94-99.