

На правах рукописи

Вдовина Елена Васильевна

**ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА
НА ОСНОВЕ БЕЙДЕЛЛИТОВОЙ ГЛИНЫ
И ОТХОДОВ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ**

Специальность 05.23.05 - Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
2011

Работа выполнена в АМОУ ВПО «Самарская академия государственного и муниципального управления»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Абдрахимов Владимир Закирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Гаркави Михаил Саулович

кандидат технических наук, доцент
Погорелов Сергей Николаевич

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Петербургский
государственный университет
путей сообщения»

Защита состоится «19» мая 2011 г. в 13-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.298.08 при ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, Южно-Уральский государственный университет, главный корпус, ауд.1001.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан « 14 » апреля 2011 г.

Отзыв на автореферат (2 экз.), заверенный печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, ЮУрГУ, диссертационный совет ДМ 212.298.08.

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



Б.Я. Трофимов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В большинстве областей России отсутствуют или ограничены месторождения кондиционных глин и отощителей, пригодных для производства высокомарочного кирпича. В Самарской области сосредоточены запасы бейделлитовой глины, применение которой достаточно ограничено, т.к. в основном для производства керамических материалов используется гидрослюдистая и каолинистая глины.

Проблема снижения цены сырьевых материалов при производстве керамического кирпича в России в связи с экономическим кризисом приобретает особую актуальность. Одним из аспектов решения этой проблемы является использование промышленных отходов в производстве кирпича. Наиболее перспективное направление в производстве строительных керамических материалов – это использование многотоннажного техногенного сырья. Разработка составов и технологий, позволяющих применять техногенное сырье в производстве строительных керамических материалов, способствует рациональному использованию и значительному сохранению имеющихся природных традиционных сырьевых ресурсов (глины, песка и др.); охране окружающей среды; утилизации промышленных отходов и снижению экологической напряженности в регионе; расширению сырьевой базы для строительных материалов.

Накопленные на сегодняшний день данные по применению техногенного сырья в керамических материалах не систематизированы, недостаточно изучены перспективные тенденции развития производства керамических строительных материалов, в том числе:

- не исследована возможность применения в керамическом кирпиче отходов: «королька» и продукта очистки отходящих дымовых газов от вагранки при получении расплава при производстве минеральной ваты в качестве отощителей и интенсификаторов спекания;

- недостаточно исследованы фазовые превращения, протекающие при обжиге керамического кирпича с использованием отходов минеральной ваты;

- недостаточно изучено влияние отходов минеральной ваты на кристаллизацию муллита;

- не изучено влияние отходов минеральной ваты на структуру пористости керамического кирпича;

- не исследована возможность получения глазурованного керамического кирпича на основе бейделлитовой глины и отходов производства минеральной ваты.

Бейделлитовая глина, непригодная как самостоятельное сырье для производства керамического кирпича из-за продолжительности сушки, имеет ряд преимуществ: может связать до 40% отходов минеральной ваты, является местным сырьем и качество готового кирпича с отходами минеральной ваты повышается.

Цель работы: разработка теоретических и практических основ технологии высокоэффективного кирпича из бейделлитовой глины с применением отходов минераловатного производства, обеспечивающих утилизацию техногенного сырья и повышение физико-механических показателей керамического кирпича.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие **задачи:**

- изучить химико-минералогические составы, физико-механические, реологические, термические и технологические свойства сырьевых материалов и керамической шихты;

- установить оптимальные составы для производства керамического кирпича на основе бейделлитовой глины с применением отходов производства минеральной ваты;

- исследовать фазовые превращения, протекающие при обжиге кирпича;

- изучить структуру пористости при различных температурах обжига кирпича;

- изучить взаимосвязь фазового состава и структуры пористости с физико-механическими показателями кирпича;

- исследовать возможность получения глазурованного керамического кирпича с повышенной термостойкостью.

Объект исследования – керамический кирпич с улучшенными физико-механическими характеристиками и низкой себестоимостью.

Предмет исследования – эффективные составы керамического кирпича на основе бейделлитовой глины с применением отходов производства минеральной ваты.

Достоверность и обоснованность научных выводов и результатов работы обеспечена большим объемом выполненных экспериментов с применением стандартных и современных методов исследования: рентгенографического, ИК-спектроскопического, электронной микроскопии, ртутной порометрии, дилатометрического, малоуглового диффузного рассеяния рентгеновских лучей, ядерной гамма-резонансной спектроскопии (ЯГРС) и других. При проведении экспериментальных методов анализа использовалось поверенное оборудование. Выводы и рекомендации работы подтверждены выпуском опытной партии образцов кирпичей в производственных условиях.

Научная новизна работы.

1. Выявлено, что использование отходов минеральной ваты, содержащих более 10% Fe_2O_3 , в производстве керамического кирпича на основе бейделлитовой глины обеспечивает при относительно низкой температуре 950°C образование железистых стекол, благоприятствующих протеканию реакций для кристаллизации муллита.

2. При увеличении температуры обжига до 1050°C происходит кристаллизация короткопризматического муллита, что связано с замещением

ионов Al^{3+} на Fe^{3+} . Кристаллизация муллита в керамическом кирпиче способствует повышению его физико-механических показателей.

3. Выявлено, что введение отхода минераловатного производства – «королька» в составы керамических масс на основе бейделлитовой глины, способствует равномерному распределению пор по размерам при температуре обжига 1050 °С.

На защиту выносятся:

1. Результаты исследований влияния отходов минеральной ваты на фазовые превращения и физико-механические показатели кирпича;

2. Результаты исследований фазовых превращений и пористости при обжиге керамического кирпича;

3. Результаты исследования взаимосвязи фазового состава и пористости кирпича с его физико-механическими показателями;

4. Результаты исследования получения глазурованного керамического кирпича с повышенной термостойкостью;

5. Ресурсо- и энергосберегающая технология производства керамического кирпича с применением отходов минеральной ваты, используемых в качестве отощителей и интенсификаторов спекания;

6. Результаты промышленного освоения и технико-экономическое обоснование производства керамического кирпича с применением отходов минеральной ваты.

Практическая значимость работы. Впервые разработаны составы керамических масс для производства кирпича на основе бейделлитовой глины с применением в качестве отощителей и интенсификаторов спекания отходов минеральной ваты, что подтверждено патентом РФ, апробированные в производственных условиях на ООО «Челно-Вершинский комбинат строительных материалов». Получены высокоэффективные керамические кирпичи М150 и М175 при температуре обжига 1050 °С. Благодаря замене традиционного природного песка на техногенное сырье и за счет повышения физико-механических показателей кирпича, ожидаемый экономический эффект, рассчитанный в 2009 г., составит 12 млн. рублей при выпуске на этом предприятии 20 млн. штук кирпичей в год.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских, межвузовских конференциях, в том числе: Международной научно-технической конференции «Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов» в Пензе (2006); 64, 65, 66-й Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика» в Самаре (2007 - 2009); XI Международной научно-технической конференции при XI специализированной выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство – 2007» в Уфе (2007); Международной научно-практической конференции «Строительство – 2008» в Ростове на Дону (2008); V Международной конференции «Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов» в

Волгограде (2009); 67-й Всероссийской научно-технической конференции «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре» в Самаре (2010); II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Кадастр и геоинформационные технологии в управлении городским хозяйством» в Самаре (2010); Всероссийской научно-практической конференции «Качество и инновации – основа современных технологий» в Новосибирске (2010); II Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и охраны труда» в Курске (2010).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК России по направлению «Строительство и архитектура», получен патент РФ и 1 положительное решение на патент РФ, две монографии, 15 научных работ в отраслевых изданиях и материалах конференций.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 188 страниц включает 32 таблицы, 59 рисунков и состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, библиографического списка из 193 наименований и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, задачи диссертационной работы, ее научное, теоретическое и практическое значение.

В первой главе «Основные тенденции и перспективы использования техногенного сырья в производстве керамических материалов» осуществлен обзор советского, российского и зарубежного опыта применения техногенных отложений в производстве керамических строительных материалов. Изучение литературы подтверждает, что исследование, использование и утилизация техногенного сырья – это важные и взаимосвязанные народно-хозяйственные задачи.

Вопросам использования техногенного сырья в производстве керамических материалов посвящены многочисленные труды известных ученых: В.З. Абдрахимова, А.И. Августиника, Ю.М. Баженова, Г.И. Бердова, П.И. Боженова, П.П. Будникова, В.И. Верещагина, М.С. Гаркави, О.С. Грум-Гржимайло, И.С. Кашкаева, Г.И. Книгиной, В.К. Козловой, П.Г. Комохова, Г.Н. Масленниковой, В.Ф. Павлова, Т.М. Петровой, В.В. Прокофьевой, С.Ж. Сайбулатова, Л.Б. Сватовской и многих других.

Многие из отходов отличаются нестабильностью химико-минералогического состава, технологических свойств и содержат нежелательные примеси, что доказывает необходимость проведения специальных исследований перед их применением.

Во второй главе «Методы исследования и сырьевые материалы» дается описание сырьевых материалов, а также приведено описание основных экспериментальных методов исследования.

Исследование минералогического и фазового составов проводили петрографическим, рентгенофазовым, ИК-спектроскопическим, электронно-микроскопическим методами анализа и ДТА. Порошковые рентгенограммы получены на дифрактометре ДРОН-2 при условиях съемки: интервал углов 2θ от 6 до 70° с использованием CuK_α -излучения. ИК-спектры поглощения получены на спектрографе «Specord 75IR». Для анализа размера частиц в сырьевых материалах был проведен металлографический анализ на микроскопе МИМ-8М. Дифференциально-термический анализ материалов с получением комплексной термической кривой выполнялся в соответствии с требованием ГОСТ 31251-2003. Для получения полных сведений о структурообразовании в керамических материалах проводилось изучение микроструктуры с помощью электронного микроскопа ЭМВ-100Б. Дилатометрические исследования проводились на дилатометре ДКВ-5А в интервале температур 20-700 °С. Исследование пористой структуры керамических образцов проводилось с применением ртутного поромера 2000 «Карло Эрба». Исследование микроструктуры керамических материалов проводили с помощью электронного растрового сканирующего микроскопа Phillips 525М. Формирование структуры пористости керамических образцов исследовалось с применением метода малоуглового диффузного рассеяния рентгеновских лучей (РМУ). Микроанализ локализованных участков муллитизированного стекла керамического материала осуществлялся на установке с микрозондом фирмы «Camebax».

При получении керамического кирпича использовались следующие сырьевые компоненты Самарской области: в качестве глинистого сырья – бейделлитовая глина Образцовского месторождения, гидрослюдистая глина Даниловского месторождения была взята для сравнения, а каолинистая глина Чапаевского месторождения для получения глазурованного кирпича; в качестве отошителей и интенсификаторов спекания – отходы производства минеральной ваты.

Химический состав исследуемых компонентов приведен в табл. 1.

Усредненные химические составы компонентов материалов Таблица 1

Компоненты	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	R_2O	SO_3	п.п.п.
Глинистые материалы месторождений								
Образцовского	55,13	19,25	2,00	1,32	7,72	1,50	1,01	8,80
Даниловского	64,20	10,30	5,68	2,20	4,02	2,50	0,50	8,40
Чапаевского	69,80	16,38	3,02	1,42	3,10	0,20	0,20	5,08
Отходы производства минеральной ваты								
«Королек»	43,20	7,30	23,60	14,60	6,72	2,79	0,90	0,80
Продукт очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты	15,30	7,98	31,20	7,60	10,60	6,79	0,98	19,30

Минералогические составы и технологические свойства глинистых материалов представлены в табл. 2 и 3.

Минералогический состав глинистых материалов

Таблица 2

Глинистые материалы месторождений	Содержание минералов, мас. %						
	Гидро-слюда	Кварц	Гипс	Поле-вой шпат	Каоли-нит	Бейдел-лит	Оксиды железа
Даниловского	25-30	25-30	5-7	10-15	10-15	—	4-5
Образцовского	5-10	20-25	2-3	10-15	3-5	35-45	5-7
Чапаевского	—	10-20	2-4	20-30	45-50	—	1-3

Технологические свойства глинистых материалов

Таблица 3

Глинистые материалы месторождений	Число пластичности	Содержание глинистых частиц размером менее 0,005 мм	Огнеупорность, °С	Спекаемость без деформационных искривлений
Даниловского	7-9	15-25	1100-1200	Не спекается
Образцовского	15-24	40-55	1320-1350	Не спекается
Чапаевского	10-15	30-35	1520-1550	Спекается

В процессе производства минеральной ваты не все капли расплава успевают вытянуться в нити. Часть их принимает форму шариков, жгутиков и пр. Такие включения называются «королевками». Продукт очистки отходящих дымовых газов от вагранки при получении расплава при производстве минеральной ваты (ВПП минваты) также является отходом и удаляется при производстве минеральной ваты в отдельные приемники.

На рис. 1 представлены снимки «королевка» и продукта очистки отходящих дымовых газов ВПП минваты, сделанные на электронном растровом сканирующем микроскопе Phillips 525M.

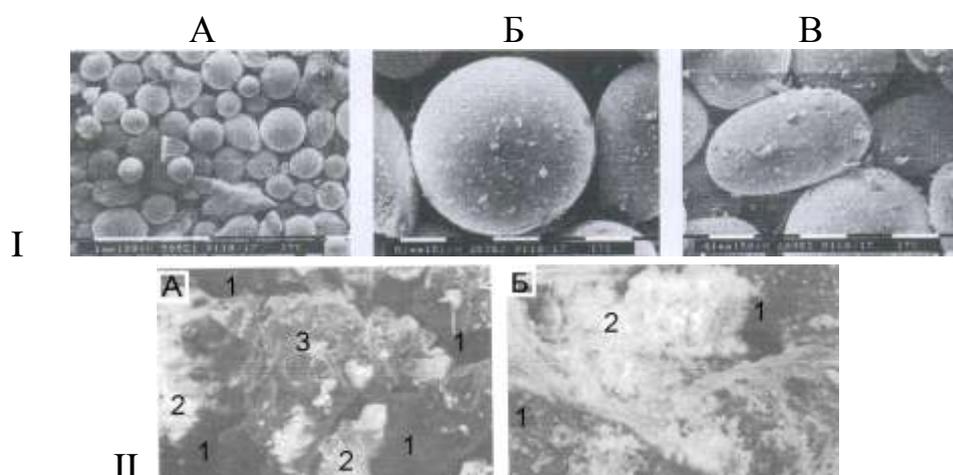


Рис. 1. «Королек» – I; продукт очистки отходящих дымовых газов ВПП минваты – II: 1 – органика; 2 – стеклофаза; 3 – гематит.
Увеличение: I А х50, I Б и I В х200; II А х100, II Б х1000

Исследования показали, что отходы производства минеральной ваты, содержащие стеклофазу, содержат и незначительное количество муллита, который будет центром кристаллизации муллита при обжиге керамических материалов. Кроме того, продукт очистки отходящих дымовых газов от вагранки при получении расплава при производстве минеральной ваты имеет повышенное содержание потерь при прокаливании (п.п.п.), что будет способствовать обжигу внутри кирпича. Стекловидная фаза «королька» и продукта очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты неоднородна и под микроскопом представлена желто-бурым цветом, обусловленным наличием оксида железа, поэтому их светопреломление высокое $N_0 = 1,6 - 1,63$.

В третьей главе «Исследование реологических, сушильных свойств и оптимизация составов керамических масс по физико-механическим показателям» сказано, что для экономичности процесса сушки необходимо использовать глинистые материалы с минимальной влажностью. Исследования показали, что в глине Образцовского месторождения, в отличие от гидрослюдистой глины Даниловского месторождения, наличие разбухающего минерала бейделлита способствует более резким изменениям вязкости и повышенному содержанию влаги. Поэтому для получения керамического кирпича на основе бейделлитовой глины в составы керамических масс необходимо вводить отошители.

Для исследования влияния «королька» на сушильные свойства керамического кирпича были исследованы составы, представленные в табл. 4.

Составы керамических масс

Таблица 4

Компоненты	Содержание компонентов, мас. %		
	1	2	3
Бейделлитовая легкоплавкая глина	70	60	50
«Королек»	30	40	50

Керамические материалы формовались пластическим методом при влажности шихты 20-25 % (в зависимости от содержания бейделлитовой глины). Физико-механические свойства высушенного кирпича приведены в табл. 5.

Физико-механические свойства высушенного кирпича

Таблица 5

Свойства	Состав		
	1	2	3
Температура, при которой появляются трещины, °С	130	145	155
Влажность конца усадки, %	6	7	10
Относительная усадка, %	5,8	3,4	2,0
Время сушки до остаточной влажности 8 %, час	72	68	48
Механическая прочность при сжатии высушенного сырца до остаточной влажности 7-8 %, МПа	8,6	7,8	5,5

Для изучения влияния содержания «королька» на физико-механические показатели обожженного керамического кирпича были исследованы составы, приведенные в табл. 6. Составы керамических материалов готовились пластическим способом при влажности шихты 20-25 %. Сформованные образцы, высушенные до остаточной влажности не более 7-8 %, обжигались при температуре 1050 °С.

Составы керамических масс

Таблица 6

Компоненты	Содержание компонентов, мас. %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Бейделлитовая глина	100	80	75	70	65	60	55	50
«Королек»	0	20	25	30	35	40	45	50

Морозостойкость и механическая прочность керамического кирпича составов 1-8 представлены в табл. 7.

Физико-механические свойства керамического кирпича

Таблица 7

Показатели	Содержание компонентов, мас. %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Морозостойкость, циклы (Y_1)	67	85	91	103	105	108	98	82
Механическая прочность на сжатие, МПа (Y_2)	17,3	19,3	20,9	22,7	23,8	24,8	21,4	18,9

При исследовании зависимости между содержанием «королька» и основными физико-механическими характеристиками, такими как морозостойкость и механическая прочность кирпича, использовался достаточно распространенный метод линейной регрессии. Графики зависимостей показателей кирпича: Y_1 , Y_2 – от X имеют вид, представленный на рис. 2.

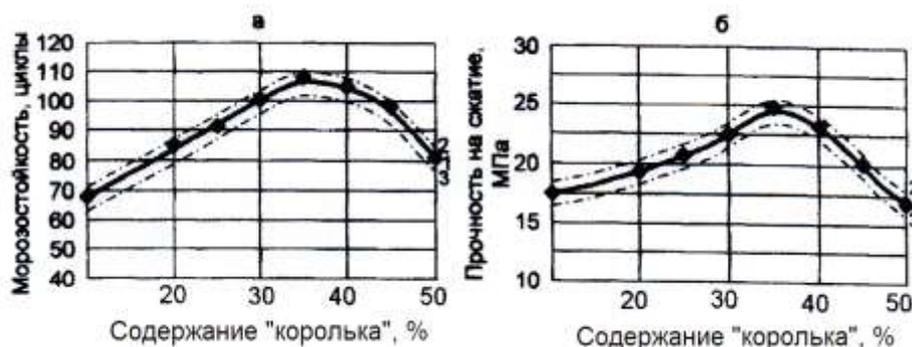


Рис. 2. График зависимости морозостойкости и механической прочности на сжатие от содержания «королька»: а – морозостойкость, б – механическая прочность. 1 – экспериментальные данные, 2 – модель+95 % доверительного интервала, 3 – модель-95 % доверительного интервала

В результате исследований оказалось, что показатели керамического кирпича Y_1 , Y_2 нелинейно зависят от содержания в составе «королька», обе зависимости имеют качественно подобный характер. Экспериментальные данные достоверно описываются полиномом второй степени. Для описания зависимостей морозостойкости и механической прочности на сжатие

использовалась модель: $Y(X) = \frac{a + cX + eX^2}{1 + bX + dX^2}$, найденная в результате

дополнительного исследования, которая хорошо описывает эксперимент и имеет достаточно простой вид. Установлено, что если в шихте содержание «королька», в котором СаО составляет 23,6 %, превысит 35 %, то спекание при температуре 1050 °С начинает ухудшаться, но до 40% совсем незначительно, а затем резко (рис. 2). Это объясняется тем, что увеличение содержания СаО в керамической массе, значительно интенсифицирует кристаллизацию анортита, который препятствует спеканию.

Аналогичные исследования были проведены и с составами, содержащими продукт очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты. Для описания зависимостей Y_1 (водопоглощения) и Y_3 (морозостойкости) от X также использовалась вышеуказанная модель, а для зависимости Y_2

(прочности на сжатие) от X – другая модель: $Y(X) = \frac{a + cX}{1 + bX + dX^2}$.

Эксперименты подтвердили, что при увеличении содержания продукта очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты в керамической массе более 35 % спекание начинает медленно ухудшаться, а после 40% – резко.

В четвертой главе «Физико-химические процессы при обжиге кирпича» были проведены исследования фазовых превращений при обжиге оптимальных составов. Изучению подвергались образцы оптимальных составов, мас. %: 1) бейделлитовая глина – 65, «королек» – 35; 2) бейделлитовая глина – 65, продукт очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты – 35.

Исследования показали, что при обжиге керамического кирпича на основе бейделлитовой глины и отходов от производства минеральной ваты при температуре 950 °С происходит образование жидкой фазы, которая инициирует начало кристаллизации муллита при 1050 °С.

При температуре 950 °С на рентгенограммах исследуемых составов отмечается также появление гематита ($d/n = 0,226; 0,269; 0,370$ нм, рис. 3).

При повышении температуры обжига до 1000 °С на рентгенограммах образцов составов 1,2 появляются линии кристобалита ($d/n = 0,192; 0,194; 0,403$ нм).

Повышение температуры обжига до 1050 °С способствует появлению муллита ($d/n = 0,182$ нм; 0,200; 0,245; 0,252; 0,270 и 0,376 нм), что свидетельствует о начале его кристаллизации.

Муллит имеет короткопризматические кристаллы, что связано с высоким содержанием в сырьевых материалах Fe_2O_3 , при этом Fe^{3+} замещает

Al^{3+} , что приводит к ограниченному изоморфизму. Замещение ионов Al^{3+} ионами Fe^{3+} укрепляет кристаллическую решетку муллита и повышает эксплуатационные свойства изделий.

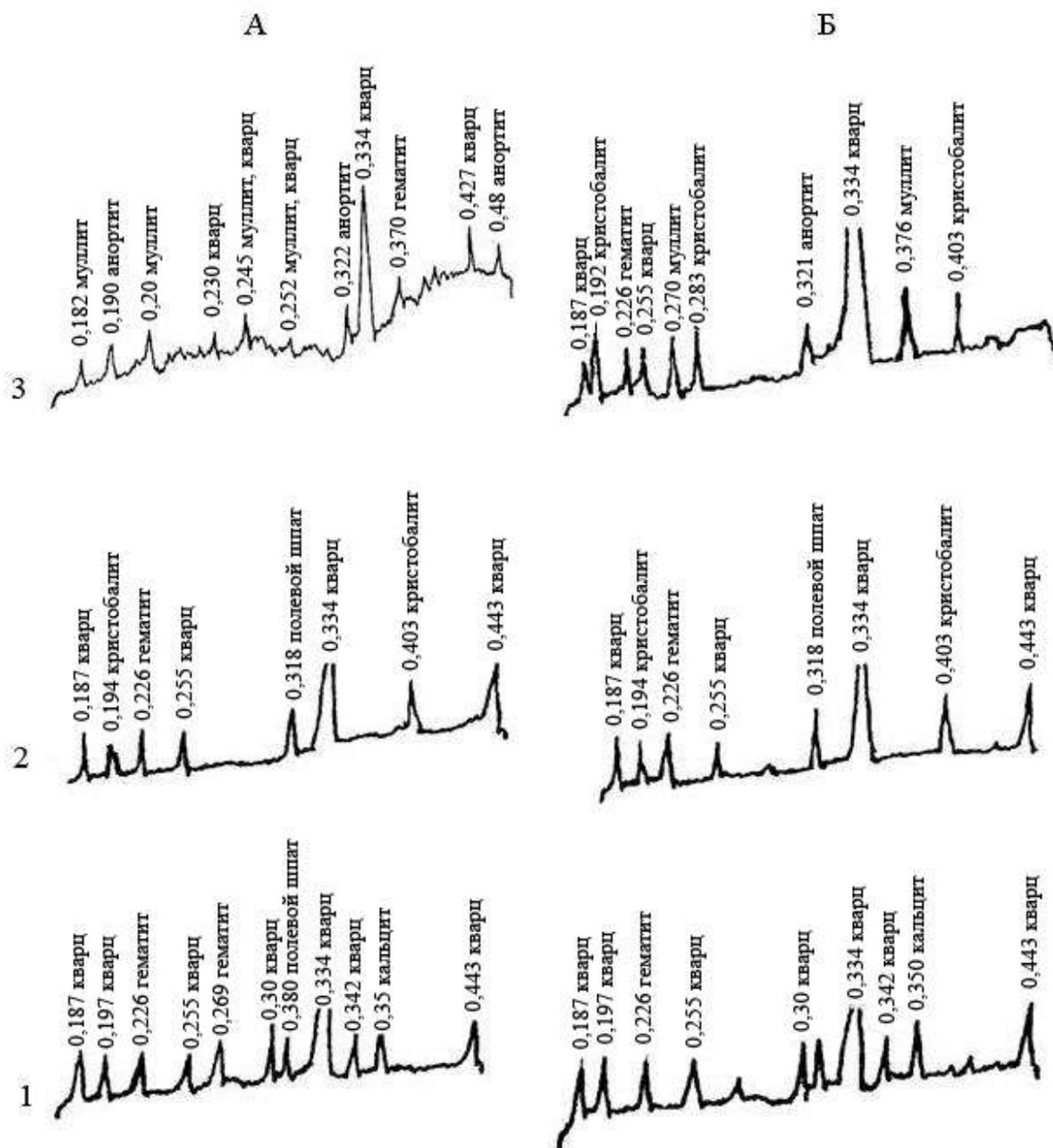


Рис. 3. Рентгенограммы образцов:

А - состав 1; Б - состав 2. Температура обжига, °С: 1 – 950, 2 – 1000, 3 – 1050

Формирование прочности и пористой структуры керамических строительных материалов определяется муллитизацией стекла, служащей основной частью каркаса керамики. Химический и минеральный составы в участке муллитизированной стеклофазы керамических материалов на основе бейделлитовой глины и отходов производства минеральной ваты были установлены методом локального рентгеноспектрального анализа с помощью

микронзонда фирмы «Camebax», а с помощью электронного микроскопа определен их фазовый состав.

Необычная форма кристаллов муллита (рис. 4) возникает из-за высокого содержания Fe_2O_3 , причем в составе 2 – более высокое содержание оксида железа, чем в составе 1 (табл. 8). С возникновением твердых растворов замещения образуется муллит различного химического состава. При этом Fe^{3+} замещает Al^{3+} . Внедрение ионов железа приводит к кристаллизации муллита в виде коротко призматических кристаллов вместо тончайших игл и удлиненно призматических кристаллов.

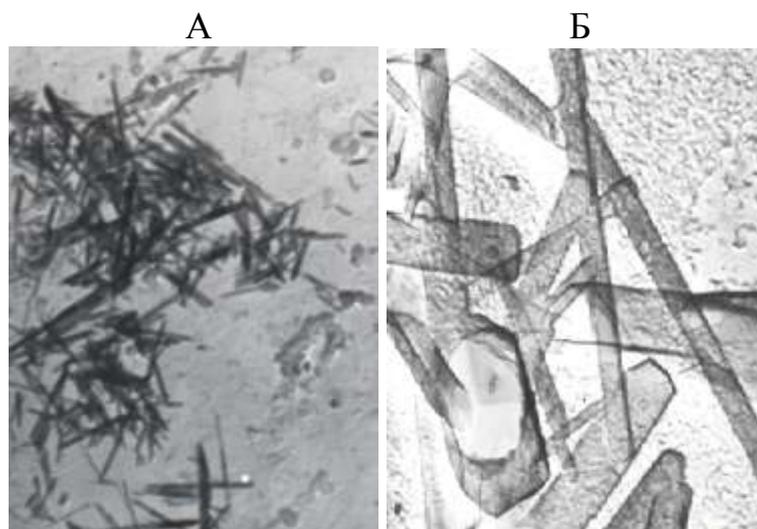


Рис. 4. Микроструктура муллитизированной стеклофазы, исследуемых составов: А – 1; Б – 2. Увеличение: А х8000; Б х10000

Содержание муллитизированной стеклофазы в составах 1 и 2; соответственно равны 35-45 и 30-35 %. Расчетный химический состав оптимальных составов 1 и 2 представлен в табл. 8.

Расчетный химический состав керамических масс

Таблица 8

Состав	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	R_2O	П.п.п.
1	51,48	14,47	6,12	10,64	6,63	2,12	5,60
2	40,32	14,74	7,67	13,68	3,83	3,62	13,00

На основании результатов локального химического анализа выполнен расчет содержания муллита в муллитизированной стеклофазе исследуемых составов 1 и 2. При этом предполагалось, что весь глинозем связан в муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, в котором содержание Al_2O_3 составляет 71,8% , а SiO_2 – 28,2 %. По рентгеноспектрограмме в образцах состава 1 среднее содержание SiO_2 оказалось равным 49,5% , а Al_2O_3 – 12,5%, следовательно, содержание муллита может составлять 17,46 %. Содержание муллита в образцах состава 2 равно 18,10 %.

Применение керамического глазурованного кирпича для облицовки фасадов делает здание более эстетичным, долговечным и создает предпосылки для значительного снижения расходов при его эксплуатации. С учетом периодических ремонтов стоимость поверхности, облицованной керамикой, в 2-3 раза ниже по сравнению с другими видами отделки фасадов зданий.

Для получения глазурованного керамического кирпича исследовались два состава, мас. %: 1) бейделлитовая глина – 57, чапаевский каолин – 8 (приблизительное среднее содержание каолина в глазурях), «королек» – 35; 2) бейделлитовая глина – 57, чапаевский каолин – 8, продукт очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты – 35.

Исследования показали, что для получения термостойкого глазурованного керамического кирпича состава 1, имеющего ТКЛР – $6,53 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, необходимо использовать легкоплавкую глазурь марки ЩЛСО, которая имеет ТКЛР – $6,45 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Термостойкость глазурованного керамического кирпича, покрытого глазурью ЩЛСО, равнялась $155 \text{ } ^\circ\text{C}$, глазурями ЛГ-77, 24/75 и Н-23 соответственно – 110, 130 и $100 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Для керамического кирпича состава 2, имеющего ТКЛР – $6,41 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, необходимо использовать легкоплавкую глазурь марки 24/75, которая имеет ТКЛР – $6,40 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ и более высокое содержание мела. Термостойкость глазурованного керамического кирпича, покрытого глазурью 24/75, равнялась $140 \text{ } ^\circ\text{C}$, глазурями ЛГ-77, ЩЛСО и Н-23 соответственно – 90, 120 и $100 \text{ } ^\circ\text{C}$.

В пятой главе «Ресурсосберегающая технология производства кирпича, его эксплуатационные свойства и опытно-промышленные испытания» для производства керамического кирпича с использованием отходов производства минеральной ваты представлена ресурсосберегающая технология. Исследования показали, что использование отходов производства минеральной ваты в составах керамических масс позволяет исключить из технологической схемы дробильное оборудование: щековые и молотковые дробилки для измельчения отощителя.

В работах Э.М. Вершининой, М.К. Гальпериной, А.В. Лыкова было установлено, что поры размером 10^{-5} - 10^{-7} м влияют на основные свойства керамических изделий, т.к. могут быть заполнены водой за счет адсорбции влаги из влажного воздуха. При замерзании воды в порах происходит увеличение ее объема на 9 %, что является причиной разрушения керамических строительных материалов. Изучение структуры пористости керамического кирпича проводилось на оптимальных составах.

Исследования показали, что введение в составы керамических масс отхода производства минеральной ваты – «королька» при температуре обжига $1050 \text{ } ^\circ\text{C}$ способствует равномерному распределению пор по размерам. Содержание пор размером от 10^{-5} до 10^{-6} м составляет 36 %. А.С. Беркман и И.Т. Мельникова «опасными» считают поры размером менее 10^{-6} м.

Содержание таких «опасных» пор в образцах с отходами минеральной ваты заметно снижается с 44% до 23 и 0%.

Испытание опытных образцов керамического кирпича на ООО «Челно-Вершинский комбинат строительных материалов» показало, что введение в керамическую массу «королек» и продукта очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты значительно улучшает физико-механические показатели кирпича. Для получения опытно-экспериментальных образцов керамического кирпича использовались оптимальные составы, приведенные в табл. 9.

Оптимальные составы керамических масс Таблица 9

Компоненты	Содержание компонентов, мас. %	
	Состав 1	Состав 2
Образцовская бейделлитовая глина	60	60
«Королек»	40	0
Продукт очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты	0	40

Физико-механические показатели керамического кирпича представлены в табл. 10.

Физико-механические показатели кирпича Таблица 10

Показатели	Составы	
	1	2
Прочность при сжатии, МПа	18,8	16,8
Среднеквадратическое отклонение	1,2	0,6
Коэффициент вариации, %	3	2
Прочность при изгибе, МПа	3,2	2,8
Морозостойкость, циклы	>50	35
Плотность кирпича, кг/м ³	1800	1400
Водопоглощение, %	8	10
Огневая усадка, %	3,3	2,4
Общая усадка, %	6,7	5,8

Согласно требованию ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия», полученные кирпичи, содержащие «королек» и продукт очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты, соответствовали маркам М 175 и М 150 соответственно.

Ожидаемый экономический эффект по расчетам 2009 года составит 12 млн. рублей при годовой производительности ООО «Челно-Вершинский комбинат строительных материалов» – 20 млн. штук кирпича. Наряду с этим, утилизация отходов производства минеральной ваты способствует улучшению экологической обстановки в Самарской области.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Отходы производства минеральной ваты, содержащие стеклофазу, содержат незначительное количество муллита, который будет центром кристаллизации муллита при обжиге керамических материалов. Продукт очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты имеет повышенное содержание потерь при прокаливании (п.п.п.=19,3 %) и железа ($Fe_2O_3=10,6$ %), что будет способствовать обжигу внутри кирпича и инициировать образование жидкой фазы при температурах не выше 950 °С.

2. Установлены оптимальные составы для производства керамического кирпича на основе бейделлитовой глины с применением отходов минераловатного производства. Выявлено, что введение в состав керамической шихты до 40 % «королька» способствует увеличению однородности, улучшению реологических и сушильных свойств шихты, снижает проявление склонности к пластическому разрушению и свилеобразованию при формовании изделий. При большем количестве «королька» проявляется низкая способность к растяжению структуры шихты.

3. Исследованы фазовые превращения, протекающие при обжиге кирпича. Установлено, что при обжиге керамического кирпича на основе бейделлитовой глины и отходов от производства минеральной ваты образование жидкой фазы происходит при температуре 950 °С, что способствует кристаллизации муллита при 1050 °С.

4. Исследования показали, что для получения термостойкого глазурованного керамического кирпича на основе бейделлитовой глины и отходов производства минеральной ваты из оптимальных составов необходимо использовать легкоплавкие глазури марок ЦЛСО и 24/75.

5. Изучена структура пористости кирпича при различных температурах обжига, а также взаимосвязь фазового состава и структуры пористости с физико-механическими показателями кирпича.

6. Выявлено, что повышение температуры обжига до 1050 °С приводит к снижению содержания «опасных» пор в составах, содержащих отходы минераловатного производства. Введение в составы керамических масс «королька» и продукта очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты способствует получению однородной по размерам пористости в образцах.

7. Установлено, что полученные в производственных условиях кирпичи, содержащие «королек» и продукт очистки отходящих дымовых газов ВПР минваты, соответствовали маркам М175 и М150, соответственно, согласно требованию ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».

Ожидаемый экономический эффект при годовом выпуске на ООО «Челно-Вершинский комбинат строительных материалов» 20 млн. шт. кирпича из бейделлитовой глины, содержащего 40 % отходов производства минеральной ваты, составит 12 млн. рублей в год, причем без учета экологической выгоды. Расчет экономического эффекта производился в 2009 году.

Основные положения диссертации опубликованы:

- в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК по направлению «Строительство и архитектура»:

1. **Вдовина, Е.В.** Исследование механизма формирования глазури в процессе обжига глазурованного кирпича на основе бейделлитовой глины и отходов производства минеральной ваты / **Е.В. Вдовина**, В.З. Абдрахимов // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2011. – №1(21). – С. 40-47.

2. **Вдовина, Е.В.** Термические исследования керамических масс на основе бейделлитовой глины и отходов производства минеральной ваты / **Е.В. Вдовина**, В.З. Абдрахимов // Строительство и реконструкция. ОрелГТУ. – 2010. – №4(30). – С. 50-52.

3. **Вдовина, Е.В.** Фазовые превращения при обжиге керамических композиционных материалов на основе бейделлитовой глины и отходов производства минеральной ваты / **Е.В. Вдовина**, Е.С. Абдрахимова // Известия вузов. Строительство. – 2007. – №11. – С. 59-65.

4. Абдрахимова, Е.С. Исследование методом локального рентгеноспектрального анализа муллитизированной стеклофазы в керамических композиционных материалах / Е.С. Абдрахимова, **Е.В. Вдовина** // Известия вузов. Строительство. – 2008. – №2. – С. 26-31.

5. Абдрахимова, Е.С. Методика исследования состава газов, выделяющихся при обжиге керамического композиционного материала на основе бейделлитовой глины и продукта сгорания от базальтовой шихты / Е.С. Абдрахимова, **Е.В. Вдовина** // Известия вузов. Строительство. – 2008. – №9. – С. 25-29.

- в патентах:

6. Пат. 2354626 С2 РФ МПК С04В 33/135. Керамическая масса для изготовления керамического кирпича / Абдрахимова Е.С., **Вдовина Е.В.**, Абдрахимов В.З., Абдрахимов А.В., Кожевников В.И.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. - №2007121989/03; заявл. 13.06.07; опубл. 10.05.09, Бюл. №13. – 4 с.

7. Положит. реш. о выд. пат. № 2009138183/03(054048). Керамическая масса для изготовления керамического кирпича / **Вдовина Е.В.**, Абдрахимов В.З.; заявл. 15.10.09.

- в монографиях:

8. Абдрахимова, Е.С. Технологические принципы использования отходов минеральной ваты и физико-химические процессы при обжиге керамического кирпича / Е.С. Абдрахимова, **Е.В. Вдовина**. – Самара: ООО «Центр перспективного развития», 2009. – 89 с.

9. Абдрахимов, В.З. Исследование железосодержащего сырья и его классификация по функциональной пригодности в производстве керамических материалов / В.З. Абдрахимов, **Е.В. Вдовина**. – Самара: Самарск. гос. арх.-строит. ун-т, 2010. – 118 с.

- в отраслевых изданиях и материалах конференций:

10. **Вдовина, Е.В.** Определение черной сердцевины при обжиге кирпича из бейделлитовой глины и продукта сгорания базальтовой шихты / **Е.В. Вдовина, Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов** // Башкирский химический журнал. – 2007.–Т. 14, №2.– С. 102-104.

11. **Вдовина, Е.В.** Исследование тепломассообменных процессов при обжиге керамических материалов / **Е.В. Вдовина, Е.С. Абдрахимова** // Башкирский химический журнал. – 2007. –Т. 14, №5. – С. 110-112.

12. **Вдовина, Е.В.** Дилатометрические, ИК-спектроскопические и электронно-микроскопические исследования композиционного керамического материала из техногенного сырья и легкоплавкой глазури / **Е.В. Вдовина, В.З. Абдрахимов** // Строительный вестник Российской инженерной академии. – М. – 2009. –Вып.10. – С. 116-120.

13. **Вдовина, Е.В.** Физико-химические процессы в керамических материалах на основе бейделлитовой глины и отходов производства минеральной ваты при различных температурах обжига / **Е.В. Вдовина, В.З. Абдрахимов** // Строительный вестник Российской инженерной академии. – М. – 2010. –Вып.11. – С. 47-51.

14. **Вдовина, Е.В.** ИК-спектроскопические исследования легкоплавкой глазури / **Е.В. Вдовина, Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов** // Проблемы строительного комплекса России: материалы XI Международной научно-технической конференции при XI специализированной выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство – 2007». – Уфа, 2007. – С. 112-114.

15. **Вдовина, Е.В.** Использование отходов базальтовой шихты в производстве кирпича / **Е.В. Вдовина, Е.С. Абдрахимова** // Материалы 64-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР за 2006 г. /СГАСУ. – Самара, 2007.– С. 153-154.

16. **Вдовина, Е.В.** Влияние фазового состава на морозостойкость керамического кирпича / **Е.В. Вдовина** // Строительство – 2008: материалы Международной научно-практической конференции. – Ростов на Дону, 2008. – С. 141-143.

17. **Вдовина, Е.В.** Физико-химические процессы при обжиге керамических материалов с использованием отхода от производства минеральной ваты – «королька» / **Е.В. Вдовина, В.З. Абдрахимов, И.В. Ковков** // Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов.– Самара, 2008.–Вып. 3.– С. 169-180.

18. **Абдрахимов, В.З.** Исследование при различных температурах обжига состава выделяющихся газов в керамических композиционных материалах / **В.З. Абдрахимов, Е.В. Вдовина, И.В. Ковков** // Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов. – Самара, 2008. – Вып. 3. – С. 142-159.

19. **Вдовина, Е.В.** Физико-химические методы исследования бейделлитовой глины и «королька» от производства минеральной ваты / **Е.В. Вдовина, В.З. Абдрахимов** // Надежность и долговечность строительных

материалов, конструкций и оснований фундаментов: материалы V Международной конференции. – Волгоград, 2009. – С. 61-66.

20. **Вдовина, Е.В.** Экологические и практические аспекты использования «королька» (отхода производства минеральной ваты) в производстве кирпича / **Е.В. Вдовина**, Е.С. Абдрахимова // Материалы 66-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР за 2008 г.– Самара: СГАСУ, 2009. – Ч.1. – С. 165.

21. **Вдовина, Е.В.** Физико-химические методы исследования продукта очистки дымовых газов, отходящих от вагранки при производстве минеральной ваты / **Е.В. Вдовина**, В.З. Абдрахимов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 67-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2009 г. – Самара: Изд-во Самарский гос. арх.-строит. ун-т, 2010.– С.213-215.

22. Абдрахимов, В.З. Глина Образцовского месторождения Самарской области – местное сырье для производства керамических материалов/ В.З. Абдрахимов, **Е.В. Вдовина** // Кадастр и геоинформационные технологии в управлении городским хозяйством: сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Самара: Изд-во Самарский муниципальный институт управления, 2010. – С. 163-171.

23. **Вдовина, Е.В.** Влияние продукта очистки отходящих дымовых газов от вагранки при получении расплава в производстве минеральной ваты на фазовый состав керамического кирпича / **Е.В. Вдовина** // Актуальные проблемы экологии и охраны труда: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Курск: Курский гос. техн. ун-т, 2010. – С. 62-66.

24. **Вдовина, Е.В.** Влияние отхода производства минеральной ваты – «королька» на реологические и сушильные свойства керамической шихты / **Е.В. Вдовина** // Качество и инновации – основа современных технологий: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2010. – С. 155-157.