

666  
К49

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 666.613:666.738

**Климош Юрий Александрович**

**ПЛОТНОСПЕКШИЕСЯ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЖИГА ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
ИЗДЕЛИЙ**

05.17.11 – Технология силикатных  
и тугоплавких неметаллических материалов

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 2005

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре технологии стекла и керамики

Научный руководитель доктор технических наук,  
заведующий кафедрой технологии  
стекла и керамики  
профессор Левицкий Иван Адамович  
(учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»)

Официальные оппоненты: доктор химических наук,  
заведующий кафедрой физической химии  
профессор Паньков Владимир Васильевич  
(учреждение образования «Белорусский государственный университет»);

кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник  
Тавгень Вячеслав Владимирович  
(Институт общей и неорганической химии  
НАН Беларуси)

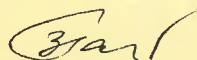
Опонирующая организация Научно-исследовательское республиканское  
унитарное предприятие «НИИСМ»

Защита состоится «18» мая 2005 г. в 14<sup>00</sup> часов в аудитории 240 корпус 4 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.03 в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет», 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, тел. 227-43-08.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «7» апреля 2005 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



С.А. Гайлевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Получение керамических материалов хозяйственного назначения, характеризующихся водонепроницаемостью, сниженными значениями водопоглощения и пористости, повышенной термостойкостью на основе полиминерального легкоплавкого глинистого сырья Беларуси является одним из перспективных направлений современного керамического материаловедения. В настоящее время выпускаемые предприятиями республики керамические изделия хозяйственного назначения часто не соответствуют требованиям по водонепроницаемости и термостойкости и являются неконкурентоспособными как на внутреннем, так и внешнем рынках, а отечественная торговая сеть интенсивно насыщается аналогичными изделиями, импортируемыми из России, Украины, Чехии, Германии и других стран. Это связано, главным образом, с отсутствием высококачественного огнеупорного и тугоплавкого глинистого сырья, а также эффективных флюсующих компонентов (нефелин-сиенитовый концентрат, тальк, перлит и др.). Однако республика располагает значительными запасами легкоплавкого глинистого сырья и отходами разнообразных производств, которые могут найти применение в керамических массах, что обуславливает необходимость изыскания возможностей получения качественных керамических материалов на их основе и тем самым сократить импорт высококачественного алюмосиликатного сырья. Глинистое сырье Беларуси характеризуется рядом особенностей, обусловленных условиями его образования и залегания. В частности, отмечается наличие значительных количеств свободного кварца, карбонатных и железистых соединений, что оказывает значительное влияние на процессы спекания керамических материалов на основе данного сырья.

В связи с этим теоретический и практический интерес для керамической промышленности представляет разработка научно-обоснованных теоретических и технологических основ получения плотносспекшихся керамических изделий хозяйственного назначения на основе полиминеральных глин Беларуси с обеспечением высоких эксплуатационных свойств при низкотемпературных режимах обжига (1000–1050 °С). Создание рациональных составов технологических масс на основе местных сырьевых ресурсов является важной актуальной задачей, обеспечивающей решение ряда экономических и ресурсосберегающих задач.

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Тема диссертационной работы соответствует научному направлению кафедры технологии стекла и керамики БГТУ и выполнялась в рамках следующих НИР:

1. «Разработка основ управляемого низкотемпературного синтеза плотносспекшейся керамики» (ФФ 21–016) № гос. регистрации 20013811. Срок выполнения 01.04.2000–31.03.2002 г.г.

2. «Исследование механизма формирования фазового состава и структуры плотносспекшихся керамических масс низкотемпературного обжига» (ГБ 23–032) № гос. регистрации 20031022. Срок выполнения 01.01.2003–31.12.2003 г.г.

686 ар

Беларуская навуковая акадэмія  
Навукова-даследавальчыны і інфармацыйны цэнтр

3. «Высокотемпературный синтез стекловидных материалов из амфиболовых концентратов и «хвостов» от магнитной сепарации железных руд Околовского месторождения (ХД 22–064) № гос. регистрации 20023751. Срок выполнения 01.11.2002 – 31.03.2003 г.г.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является разработка составов масс и технологии получения плотносспекшихся керамических изделий хозяйственного назначения при низкотемпературных режимах обжига на основе полиминеральных легкоплавких глин Республики Беларусь с использованием комплексного плавня и отошающей добавки, в том числе и с применением различных видов стеклобоя и отходов от обогащения железистых кварцитов; изучение процессов и выявление закономерностей структуро- и фазообразования во взаимосвязи с физико-химическими характеристиками синтезированных материалов и температурно-временными режимами обжига.

При реализации поставленной цели решались следующие задачи: проведение анализа патентной и информационной литературы, обобщение отечественного и зарубежного опыта производства плотносспекшихся керамических изделий; выбор исходных сырьевых материалов, определение областей и составов для исследования; синтез керамических материалов; установление влияния вида и количества сырьевых компонентов на водопоглощение, плотность, пористость, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), механическую прочность, термостойкость и другие свойства образцов изделий; определение зависимости вышеуказанных параметров от температуры обжига и продолжительности изотермической выдержки; выявление общих закономерностей и особенностей формирования структуры и фазового состава керамики; исследование возможных способов интенсификации и направленного регулирования процесса спекания материалов; установление возможности использования отходов обогащения железистых кварцитов и различных видов стеклобоя в керамических массах с целью частичной или полной замены импортируемого сырья; оптимизация составов масс и разработка технологии плотносспекшихся керамических материалов; подбор оптимального количества и сочетания электролитов, а также установление их влияния на изменение реологических, электрокинетических и технологических свойств керамического шликера; проведение промышленных испытаний и внедрение в производство разработанных составов масс.

**Объект и предмет исследования.** Объект исследования – плотносспекшиеся керамические изделия хозяйственного назначения, полученные при низкотемпературных режимах обжига. Предмет исследования – многокомпонентные системы, включающие полиминеральные глины Беларуси, комплексный плавень и отошающую добавку, шихтовые составы, технологические процессы производства, физико-химические свойства, структура и фазовый состав плотносспекшихся материалов.

**Методология и методы проведенного исследования.** В основу работы положено детальное исследование основных этапов синтеза плотносспекшихся кера-

мических материалов: выбор сырьевых материалов и областей составов керамических масс для исследования; синтез и изучение физико-химических свойств синтезированных материалов; исследование процессов формирования их структуры и фазового состава; оптимизация составов и технологических параметров синтеза материалов с заданным комплексом свойств; разработка технологии получения плотносспекшихся керамических изделий низкотемпературного обжига.

В работе применялись современные методы исследования: дифференциально-термический, рентгенофазовый и химический анализы, оптическая и электронная микроскопия, инфракрасная спектроскопия, электронно-зондовый микроанализ и др. Проведение эксперимента и обработка полученных данных проводились с привлечением методов планирования и математической статистики.

**Научная новизна и значимость полученных результатов.** Разработаны научные и технологические основы синтеза плотносспекшихся керамических материалов низкотемпературного обжига (1000–1050 °С) с расширенным интервалом спекшегося состояния на основе многокомпонентных систем, содержащих глинистую составляющую, комплексный плавень и отощитель, обеспечивающих высокие показатели свойств: водонепроницаемость, водопоглощение в пределах 0,6–3,0 %, механическую прочность – до 90 МПа, термическую стойкость до 30 тепломен.

Установлена определяющая роль алюмоборосиликатного стеклогранулята, обеспечивающего образование маловязкого расплава при низких температурах обжига, обуславливающего активное заполнение порового пространства до остаточного объема 1–7 %, а также кристаллизацию из расплава анортита, выполняющего наряду с остаточным кварцем армирующую роль в создании пространственной стеклокристаллической структуры.

Определена взаимосвязь между природой, содержанием, количественным соотношением оксидов и фазовым составом, а также пространственным распределением структурных составляющих в керамике и показателями ее физико-химических свойств. Оптимальные характеристики свойств достигаются при соотношении оксидов типа  $RO/R_2O$  в пределах 0,9–1,3, сумме  $(RO+R_2O+Fe_2O_3)$  – 17–18 %, наличием 1,8–2,7 %  $B_2O_3$  и не менее 18 %  $Al_2O_3$ .

Доказана эффективность применения комбинации из четырех электролитов, определено их суммарное содержание, составляющее 0,4–0,45 %, обеспечивающее улучшение реологических характеристик и высокую агрегативную устойчивость многокомпонентных жидкотекучих керамических масс вследствие эффекта синергизма за счет активного участия в ионообменных процессах шликеров как катионов так и анионов электролитов.

**Практическая (экономическая, социальная) значимость полученных результатов.** Разработаны составы масс, ресурсо- и энергосберегающая технология получения плотносспекшихся керамических изделий хозяйственного назначения на основе полиминеральных глин Республики Беларусь, отощителя и комплексного плавня, полученные при низкотемпературных режимах обжига (1000–1050 °С).

Полученные результаты диссертационной работы имеют практическую значимость для керамической промышленности Беларуси, могут использоваться в качестве коммерческого продукта для предприятий, специализирующихся на выпуске керамических изделий хозяйственного и декоративно-бытового назначения (Ивенецкий завод художественной керамики, ОАО «Речицкая керамика», Волковыское производственное объединение строительных материалов и другие).

Внедрение разработанных составов и технологии плотносспекшихся керамических материалов низкотемпературного обжига позволит сократить или полностью отказаться от импорта аналогичных видов изделий, а также получать материалы хозяйственного назначения с эксплуатационными характеристиками на уровне полуфарфоровых изделий, обжигаемых при 1200–1250 °С. Получение экономического эффекта достигается также за счет снижения стоимости предлагаемого минерального сырья и уменьшения энергетических затрат на обжиг изделий.

Экономический эффект от внедрения разработанных составов масс и технологии плотносспекшихся керамических изделий составит 169,67 млн. руб. (78798 долларов США) на 40000 штук.

***Основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту:***

- Экспериментальные результаты структурно-управляемого синтеза плотносспекшихся керамических материалов при низкотемпературных режимах обжига;
- основные закономерности, устанавливающие зависимость свойств, фазового состава и структуры синтезированных материалов от рецептуры керамических масс и параметров технологического процесса их получения;
- результаты исследования влияния содержания и соотношения оксидов железа, бора, алюминия, щелочных и щелочноземельных металлов многокомпонентных масс на свойства и структуру полученных материалов;
- результаты влияния комплекса электролитов на реологические, электрокинетические и технологические свойства шликеров;
- разработанные составы масс и технология плотносспекшихся керамических материалов низкотемпературного обжига.

***Личный вклад соискателя.*** Автором проведены экспериментальные исследования по выбору сырьевых материалов и областей составов керамических масс, синтезу керамических материалов и изучению их свойств и структуры с обработкой экспериментальных данных и анализом результатов исследований, разработке технологии получения плотносспекшихся изделий, ее апробации и внедрении. Вклад соавторов совместных публикаций состоял в обобщенном научном руководстве и обсуждении результатов исследования.

***Апробация результатов диссертации.*** Результаты диссертации доложены и обсуждены на: научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Белорусского государственного технологического университета, 2002–2004 гг.; международных научно-технических конференциях: «Современные технологии, материалы, машины и оборудование», г. Могилев, 2002; «Энерго- и материалоэкономические экологически чистые технологии», г. Гродно, 2002; «Новые

технологии в химической промышленности», г. Минск, 2002; Белорусско-польском научно-практическом семинаре, г. Брест, 2002; VII-й Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «НИРС-2002», г. Витебск, 2002; VIII-й Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «НИРС-2003», г. Минск, 2003; III-й международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов, г. Гомель, 2003; «Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства» г. Витебск, 2003; «Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов» г. Минск, 2003; «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» г. Могилев, 2004; «Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления» г. Минск, 2004; международной научной конференции молодых ученых «Молодежь в науке – 2004», г. Минск, 2004.

**Опубликованность результатов.** Основные положения диссертационной работы отражены в 14 публикациях, в том числе в 3 статьях в научных журналах; 9 материалах и 2 тезисах докладов научно-технических конференций. Подана заявка на предполагаемое изобретение «Керамическая масса» (приоритет № а20030940 от 04.10.2003 г.). Без соавторов опубликованы 4 работы. Общий объем опубликованных материалов составляет 46 страниц.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, обзора литературы, главы, посвященной методике эксперимента и методам исследования, четырех глав экспериментальных исследований, заключения, списка литературных источников и приложений. Объем диссертации – 182 листа машинописного текста. Работа содержит 54 рисунка, 13 таблиц, 5 приложений. Список литературных источников включает 140 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы дана оценка современного состояния проблемы, обоснована актуальность исследований, сформулирована цель работы, показана научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе представлен обзор литературы, в котором приведены основные направления проводимых исследований в области получения плотноспекшихся керамических материалов низкотемпературного обжига, включая составы масс, применяемые для их получения. Изложены данные экспериментальных и теоретических исследований по установлению и регулированию процессов спекания керамических масс, влиянию различных технологических факторов на структуру, фазовый состав и физико-химические свойства аналогичных керамических материалов.

Анализ литературных данных показал, что проблемой получения керамических изделий с плотной спекшейся структурой занимаются в различных научных подразделениях стран СНГ и Балтии. Имеющиеся исследования и разработки каса-

ются в первую очередь синтеза плотносспекшихся материалов на основе высококачественных глин России, Украины, Латвии, значительно отличающихся по химическому и минералогическому составам. Однако данные исследования не могут быть основополагающими для легкоплавких полиминеральных глин месторождений Беларуси в силу особенностей их состава.

В имеющихся разрозненных данных литературы не до конца раскрыты особенности поведения многокомпонентных керамических масс при нагревании, не в полной мере рассмотрены вопросы взаимосвязи исходного химико-минералогического состава глин с процессами структуро- и фазообразования, формирования физико-химических и реологических свойств при введении различных флюсующих, отошающих и других добавок, а также возможные способы регулирования этими процессами.

На механизм и характер процессов, происходящих при обжиге керамических многокомпонентных масс на основе легкоплавких глин, у авторов нет единого мнения. Вопросы влияния состава и строения жидкой фазы на свойства плотносспекшихся материалов низкотемпературного обжига изучены недостаточно.

На основании анализа литературных источников поставлены задачи и определены основные направления диссертационной работы.

Во **второй главе** описана методика проведения экспериментальных исследований, а также применяемые для обработки данных эксперимента методы математической статистики.

Определение физико-химических и эксплуатационных свойств синтезированных плотносспекшихся материалов: водопоглощение, открытая пористость, кажущаяся плотность, водопроницаемость, механическая прочность, ТКЛР, термостойкость, усадка, реологических характеристик шликеров осуществлялось по стандартным методикам керамического производства.

Поведение керамических масс при нагревании изучалось методом дифференциально-термического анализа. Фазовый состав материалов анализировался рентгенофазовым методом, наличие структурных группировок – с помощью инфракрасной спектроскопии. Изучение структуры синтезированных плотносспекшихся материалов осуществлялось с применением электронной сканирующей и оптической микроскопии. Химический состав образцов в различных локальных участках поверхности изучался с помощью электронно-зондового микроанализа.

В **третьей главе** приведены результаты эксперимента по планированию и разработке составов масс для получения плотносспекшихся керамических материалов низкотемпературного обжига, влиянию состава масс и температурно-временных режимов обжига на формирование комплекса свойств и процессы структуро- и фазообразования.

В качестве основы для получения плотносспекшихся изделий методом шликерного литья использованы местные легкоплавкие полиминеральные глины месторождений «Гайдуковка» Минской области и «Лукомль» Витебской области. С целью расширения интервала спекания и интенсификации процессов фазообра-



зования вводили добавку огнеупорной глины Латненского месторождения (Воронежская область, Россия) и лом шамотных огнеупоров в количестве по 10 %\* каждого.

В качестве флюсующего компонента принята комбинация шлавней, включающая стеклогранулят и нефелин-сиенитовый концентрат, соотношение которых варьировалось таким образом, чтобы их общее количество в массах по экономическим соображениям не превышало 30 %. Стеклогранулят представляет собой алюмоборосиликатное стекло следующего состава, %: 17,8  $V_2O_5$ ; 68,0  $SiO_2$ ; 4,0  $Al_2O_3$ ; 8,9  $Na_2O$ ; 1,15  $K_2O$ ; 0,15 (CaO+MgO), используемое в качестве фритты прозрачной глазури при декорировании изделий.

Результатом проведенного выбора основных компонентов, пределов их содержания и применения для планирования и осуществления эксперимента с использованием метода симплексных решеток явилось определение трех экспериментальных областей составов, отличающихся различным содержанием и соотношением глинистых компонентов и составляющих комплексного плавня, в которых осуществлялся синтез материалов. Предел содержания легкоплавких глинистых компонентов выбран от 50 до 70 %, комплексного плавня – от 10 до 30 %, постоянным оставалось содержание огнеупорной глины и лома шамотных огнеупоров по 10 % каждого.

Приготовление опытных масс производилось мокрым помолом составляющих до тонины, обеспечивающей остаток на сите №0063 К в количестве 1,5–2 %. Относительная влажность шликера – 42–45 %, плотность – 1700–1800 кг/м<sup>3</sup>. Литье изделий производилось в гипсовые формы сливным способом. Сушка полуфабриката осуществлялась до остаточной влажности не более 0,5 %. Обжиг изделий проводился в электрических печах периодического действия при температурах 950–1050 °С с выдержкой при конечной температуре 60 мин.

Исследования зависимостей основных физико-химических свойств синтезированных материалов от содержания и соотношения составляющих комплексного плавня и легкоплавких глин, температурно-временных режимов обжига позволили установить принципиальную возможность получения плотносспекшихся водонепроницаемых керамических материалов.

С использованием полиномиальных статистических моделей построены и проанализированы диаграммы «состав–свойство»; установлены основные критерийные факторы, обеспечивающие спекаемость масс в зависимости от их состава и режимов синтеза, определены оптимальные области содержания компонентов. Показано, что характер хода кривых для образцов, полученных из масс изучаемых областей составов, в целом идентичен. На величину свойств опытных образцов в значительной степени влияют как температурно-временные режимы обжига, определяющие фазовый состав материалов, так и количественное содержание компонентов комплексного плавня, глинистой и отошающей составляющих.

\* здесь и далее по тексту содержание дано в массовых процентах

На основе масс трех исследуемых сечений получены керамические материалы, свойства которых изменялись в следующих пределах: при температуре термообработки 1050 °С водопоглощение составляет 0,6–8,4 %, кажущаяся плотность 1925–2426 кг/м<sup>3</sup>, открытая пористость 1,4–16,2%, ТКЛР  $(63,4–68,9) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , механическая прочность при сжатии 73–90 МПа, термостойкость до 30 теплосмен. При температуре обжига 1000 °С водопоглощение образцов колеблется в широких пределах от 0,8 до 21,9 %, кажущаяся плотность 1725–2216 кг/м<sup>3</sup>, открытая пористость 1,7–39,1 %, ТКЛР  $(67,2–74,4) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , механическая прочность при сжатии 50–82 МПа. Температура обжига 950 °С не обеспечивает получение изделий с водопоглощением менее 5 % на основе разработанных масс.

Установлено, что для образцов исследуемых систем с повышением количества вводимого стеклогранулята от 5 до 15 % наблюдается идентичная закономерность уменьшения водопоглощения, открытой пористости и ТКЛР, а также увеличения кажущейся плотности и механической прочности при сжатии. Это, по-видимому, связано с ростом количества, изменением состава и снижением вязкости образующегося при термообработке расплава, что обусловлено присутствием в стеклогрануляте оксида бора, который в расплаве способствует образованию как борокремнийкислородных (Si–O–B), так и самостоятельных (B–O–B) комплексов.

Определено, что характер изменения физико-химических свойств в интервале температур обжига 950–1050 °С непосредственно связан с фазовыми превращениями – природой и особенностями формирования кристаллических фаз. Согласно данным РФА (рис.1) фазовый состав материалов, обожженных в интервале температур 950–1050 °С, представлен в основном анортитом ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) и остаточным кварцем ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ). Присутствует небольшое количество гематита ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) и эгирина ( $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ). Сравнительный анализ физико-химических свойств и фазового состава показал, что улучшение показателей свойств образцов и соответственно степени спекания керамики наблюдалось по мере увеличения интенсивности кристаллизации анортита и снижения интенсивности  $\alpha$ -кварца.

Кроме того, установлена связь между фазовым составом образцов и содержанием в массах стеклогранулята, заключающаяся в увеличении интенсивностей дифракционных максимумов анортита и одновременном снижении количества кварца при повышении содержания стеклогранулята от 5 до 15 %. Увеличение содержания в массах стеклогранулята приводит к росту количества активного мало-вязкого расплава за счет повышения содержания  $\text{V}_2\text{O}_5$ , который вовлекает в расплав компоненты глинистой составляющей, обогащается  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , что в конечном итоге способствует интенсификации процесса кристаллизации анортита и плавлению кварца.

Кристаллизация анортита, способствующего формированию более плотной структуры, происходит из расплава в результате взаимодействия флюсующих составляющих и карбонатных включений глин с продуктами дегидратации глинистых минералов в интервале температур 800–900 °С. Его максимальное количество фиксируется при 1050 °С.

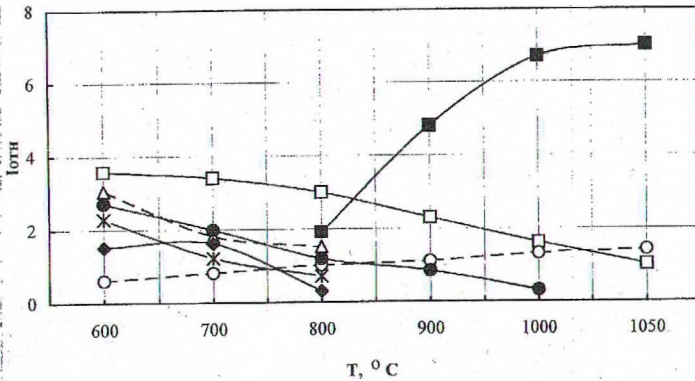


Рис. 1. Зависимость интенсивности дифракционных максимумов кристаллических фаз от температуры обжига образцов оптимального состава №1.21

—■— анортит ( $d=0,318$  нм); —□— кварц ( $d=0,425$  нм); --○-- гематит ( $d=0,269$  нм); —●— эгирин ( $d=0,290$  нм); --△-- кальцит ( $d=0,3035$  нм); —◆— каолинит ( $d=0,4478$  нм); —ж— иллит ( $d=0,261$  нм)

Наиболее приемлемым комплексом свойств характеризуются образцы, содержащие  $Al_2O_3$  не менее 18 %,  $B_2O_3$  в пределах 1,8–2,7 %, сумму оксидов ( $R_2O+RO+Fe_2O_3$ ) в пределах 17–18 % и имеющие отношение оксидов  $RO/R_2O$  равное 0,9–1,3. Прослежена зависимость изменения фазового состава образцов исследуемых сечений от соотношения оксидов щелочных и щелочноземельных металлов. Установлено, что максимальное содержание анортита и минимальное количество кварца, а также оптимальные показатели свойств характерны для масс, характеризующихся соотношением  $RO/R_2O$  равным 1,0–1,25. С изменением указанного соотношения в большую, либо меньшую стороны происходят структурные превращения, выражающиеся в перераспределении количества кристаллических фаз, изменении количества и вязкости стекловидной фазы, что сказывается на ухудшении показателей физико-химических свойств.

При микроскопическом изучении разработанных материалов определено, что при температуре термообработки 950 °C структура образцов весьма неоднородная и представлена оплавленным аморфизированным глинистым веществом, хаотично расположенными зернами кварца и анортита, суммарное содержание которых доходит до 25 %. Наблюдается значительное количество (до 25 %) различных по форме пор с размером 20–60 мкм. С увеличением температуры термообработки до 1000 °C количество пор уменьшается приблизительно до 10 %, суммарное содержание кварца и анортита составляет порядка 40 %, содержание стекловидной фазы – 25–30 %. При дальнейшем повышении температуры до 1050 °C количество пор уменьшается до 3–7 %, при этом поры, как правило, изометричные, закрытые, сферические, размером 1–10 мкм и окружены прозрачным стеклом. Суммарное количество анортита и кварца также составляет около 40 %, при доминирующем содержании анортита, содержание стекловидной фазы достигает максимального количества – 30–35 %.

Комплексное исследование микроструктуры образцов с использованием сканирующей электронной и оптической микроскопии, а также впервые примененного для плотносспекшихся керамических материалов электронно-зондового микроанализа позволило получить дополнительные сведения о структуре синтезированных плотносспекшихся керамических материалов, проследить характер распределения и количественное содержание кристаллической, стекловидной и газовой фаз, колебания химического состава в различных локальных участках материала, а также построить карту распределения химических элементов. Установлена корреляция расчетного и экспериментально определенного химического состава материала, а некоторые колебания рассчитанного и определенного микрондированием химического состава в локальных участках свидетельствуют о микронеднородности синтезированных материалов, что обусловлено особенностями фазового состава, количеством и соотношением кристаллической и стекловидных фаз. Выявлена микрогетерогенность состава стекловидной фазы, что обусловлено наличием конкретных структурных группировок в расплаве.

Оптимизированы температурно-временные параметры обжига, установлена взаимосвязь максимальной температуры обжига материалов и продолжительности изотермической выдержки при ней с количественным содержанием кристаллических фаз, геометрией, размером и характером распределения пор. Промышленные испытания позволили внести коррективы в режим термообработки материалов, заключающиеся в применении дополнительной изотермической выдержки при температуре 950 °С в течение 30–35 мин для полного завершения процессов газовой выделения и образования требуемого количества стекловидной фазы.

Изучение процесса спекания плотносспекшихся керамических материалов позволило установить, что он протекает преимущественно по жидкофазному механизму, заключающемуся в образовании при обжиге значительных количеств маловязкого алюмоборосиликатного расплава, который способствует интенсивному растворению кварца, активной кристаллизации анортита, армирующего структуру, а также заполнению пор. Определяющая роль при спекании материалов принадлежит алюмоборосиликатному стеклогрануляту, который является инициатором образования первичной жидкой фазы, в которую постепенно вовлекаются другие компоненты массы, что способствует снижению вязкости расплава и кристаллизации наиболее термодинамически устойчивой в создающихся условиях фазы — анортита.

Проведенный комплекс исследований позволил определить области оптимальных составов, обладающих высокими физико-химическими характеристиками для апробации в производственных условиях. В качестве оптимальной выбрана область факторного пространства, ограниченная содержанием 60–70 % легкошлавких глин, 10 % огнеупорной глины, 20–30 % комплексной флюсующей добавки и 10 % шамота.

**Четвертая глава** посвящена изучению возможности получения плотносспекшихся керамических материалов с использованием в качестве флюсующих

компонентов продуктов обогащения железных руд Околовского месторождения (Минская область), а также различных видов стеклобоя с целью возможности замены в массах привозного нефелин-сиенитового концентрата и дорогостоящего стеклогранулята.

Исследовались отходы сухой и мокрой магнитной сепарации железных руд. Химический состав исследуемых продуктов близок и представлен следующими оксидами, %:  $\text{SiO}_2$  49,97–61,05;  $\text{TiO}_2$  0,19–0,25;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  5,99–6,75;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  2,41–10,0;  $\text{FeO}$  14,72–18,94;  $\text{MnO}$  0,21–0,40;  $\text{CaO}$  6,34–7,40;  $\text{MgO}$  4,04–5,12;  $\text{K}_2\text{O}$  0,3–0,5;  $\text{Na}_2\text{O}$  0,83–1,2;  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,69–0,88;  $\text{SO}_3$  0,12–0,15; п.п.п. 1,09–2,51. Отходы мокрой магнитной сепарации по сравнению с «хвостами» сухого обогащения характеризуются более низким содержанием  $\text{SiO}_2$  (49,97–53,09 %) и повышенным количеством  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (7,35–10,0 %).

Температуры плавления отходов сухой и мокрой магнитной сепарации составляют 1170–1230 °С и 1130–1170 °С соответственно. Более низкая температура плавления продуктов мокрого обогащения, вероятно, вызвана повышенным содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , оказывающим флюсующее действие.

Составы керамических масс проектировали с учетом данных, полученных при разработке материалов с использованием нефелин-сиенитового концентрата и стеклогранулята (глава 3). В качестве постоянных компонентов выбрано следующее содержание сырья: 60 % легкоплавких глин, по 10 % огнеупорной глины и огнеупорного шамота, что отвечает оптимальным составам в вышеуказанной системе. В качестве переменной составляющей вводили отходы обогащения железистых кварцитов от 5 до 20 % и стеклогранулят – от 0 до 15 %.

Комплексное исследование отходов сухого и мокрого магнитного обогащения железистых кварцитов позволило установить, что данные сырьевые материалы в керамических массах способны обеспечить как флюсующую, так и отошающую функцию. Особенности минералогического и химического составов данного сырья обуславливают специфическое поведение при обжиге и отличия в структуре и свойствах материала, полученного на его основе. Так, повышенное содержание оксидов железа (II, III) и оксидов щелочноземельных металлов в продуктах магнитной сепарации позволяет регулировать количество и реакционную способность расплава и спекание масс при введении небольших количеств стеклогранулята (10–15 %). Однако процессы фазообразования и жидкофазного спекания в образцах на основе отходов обогащения железистых кварцитов сдвинуты в область более высоких температур обжига (1050 °С), чем в образцах на основе нефелин-сиенитового концентрата.

По результатам синтеза керамических масс с введением отходов мокрого и сухого магнитного обогащения железистых кварцитов вместо нефелин-сиенитового концентрата установлено, что получение качественных плотносспекшихся изделий с водопоглощением менее 5 % возможно на основе данного сырья в комбинации со стеклогранулятом при температуре обжига 1050 °С. Сочетание в оптимальных соотношениях исследуемого сырья со

стеклогранулятом позволяет значительно интенсифицировать спекание, снизить водопоглощение масс, а также исключает необходимость использования отошителя – огнеупорного шамота, без ухудшения показателей свойств.

С использованием в составах масс отходов сухого и мокрого магнитного обогащения железистых кварцитов в сочетании со стеклогранулятом получены водонепроницаемые материалы с водопоглощением 2,1–4,9 %, кажущейся плотностью 2064–2357 кг/м<sup>3</sup>, ТКЛР (63,0–67,1) · 10<sup>-7</sup> К<sup>-1</sup>, термостойкостью до 25 теплосмен, механической прочностью при сжатии до 78 МПа. С увеличением содержания стеклогранулята в массах физико-химические свойства образцов несколько повышаются, а использование отходов обогащения железистых кварцитов индивидуально в качестве флюсующего компонента малоэффективно.

Минеральный состав образцов на основе продуктов обогащения железных руд, обожженных при температурах 950–1050 °С, представлен главным образом кварцем, анортитом, гематитом и эгиринном.

С целью снижения затрат на производство изделий изучена также возможность использования в производстве плотноспекшихся изделий отдельных видов стеклобоя, вводимого вместо стеклогранулята: бой листового стекла, тарный стеклобой, кинескопное стекло, грубые отходы производства стекловолокна.

Количество глинистых компонентов и шамота в составах опытных масс оставалось постоянным (70 и 10 % соответственно), что отвечает оптимальным составам масс на основе стеклогранулята. Менялось только содержание нефелин-сиенитового концентрата и стеклобоя, которые вводились в количестве 0–10 и 5–20 % соответственно. Исследовались также составы, где использовалась комбинация трех плавней – нефелин-сиенитовый концентрат, стеклобой и стеклогранулята, вводимые в количестве 10; 5; 5 % соответственно.

Как показали экспериментальные данные, спекание этих материалов до водопоглощения менее 5 % достигается только при температурах обжига 1050 °С, что на 50 °С выше, чем для оптимальных масс на основе стеклогранулята. Установлено, что показатели физико-химических свойств в значительной степени определяются не видом используемого в массах стеклобоя, а его количеством и температурой обжига образцов. Отмечается сужение интервала спекания материалов при использовании стеклобоя, а также формирование менее плотного мелкопористого черепка. Это связано, по-видимому, с характером различного флюсующего действия стеклогранулята и стеклобоя: повышением вязкости и снижением смачивающей способностью образующейся в процессе термообработки жидкой фазы при замене стеклогранулята на стеклобой.

Экспериментально подтверждена возможность частичной замены стеклогранулята на стеклобой различных видов и их совместное введение с нефелин-сиенитовым концентратом в количестве 5; 5 и 10 % соответственно при сохранении высоких показателей физико-химических свойств: водопоглощение составляет 0,5–0,6 %, кажущаяся плотность 2360–2385 кг/м<sup>3</sup>, открытая пористость 1,19–1,42 %, общая усадка 9,0–9,1 %, ТКЛР (64,8–65,1) · 10<sup>-7</sup> К<sup>-1</sup>, механическая проч-

ность при сжатии до 76 МПа. При этом отмечается некоторое снижение показателей физико-химических свойств и сужение интервала спекания материалов.

**Пятая глава** посвящена опытно-промышленной апробации, разработке технологии получения плотносспекшихся керамических материалов низкотемпературного обжига.

Опытно-промышленная апробация оптимальных составов керамических масс проведена в условиях ОАО «Белхудожкерамика» (г.п. Радошковичи, Минская область) для производства керамических штофов, предназначенных для заполнения алкогольными напитками. Переработка сырья и подготовка масс велась на действующем на предприятии технологическом оборудовании, предназначенном для производства майоликовых изделий. Подобраны оптимальные технологические режимы производства изделий, предложены изменения в подготовке керамических масс и режиме термообработки полуфабрикатов изделий, позволяющие получать плотносспекшиеся изделия хозяйственного назначения с высоким комплексом эксплуатационных свойств на основе разработанных составов.

Для шликера состава №1.21 (глины месторождений «Гайдуковка» и «Лукомль» по 30 %; огнеупорная глина латненская, нефелин-сиенит, стеклогранулят и шамот, вводимые по 10 % каждого), рекомендуемого для промышленного внедрения, изучено влияние таких электролитов, как кальцинированная сода, жидкое стекло, триполифосфат натрия, углещелочной реагент на процессы течения, изменение электрокинетических и технологических свойств, а также подобрано оптимальное сочетание разжижающих добавок.

Установлено, что введение каждого электролита отдельно неэффективно, так как не обеспечиваются реологические характеристики шликеров, позволяющие получать качественные отливки изделий, что обусловлено полиминеральностью применяемого глинистого сырья и многокомпонентностью составов масс. Выявлено, что при введении комбинации электролитов в шликер наблюдается большее увеличение электрокинетического потенциала по абсолютной величине, чем при введении каждого электролита отдельно, что, по-видимому, обусловлено возникновением дополнительного электростатического отталкивания в коагуляционной системе и эффектом синергизма (рис.2). На разжижение керамического шликера влияют не только катионы электролита, но анионы, которые также участвуют в ионообменных процессах.

Эффективность применения комбинации из четырех электролитов, обеспечивающих улучшение реологических характеристик и высокую агрегативную устойчивость многокомпонентных жидкотекучих керамических масс, также обусловлена возможным действием электролитов как поверхностно-активных веществ:

На основании проведенных исследований установлено оптимальное сочетание электролитов (жидкое стекло – 0,2 %; кальцинированная сода – 0,15 %; триполифосфат натрия – 0,05 %; углещелочной реагент – 0,03 %) для исследуемого шликера, позволяющее эффективно влиять на реологические параметры шликера.

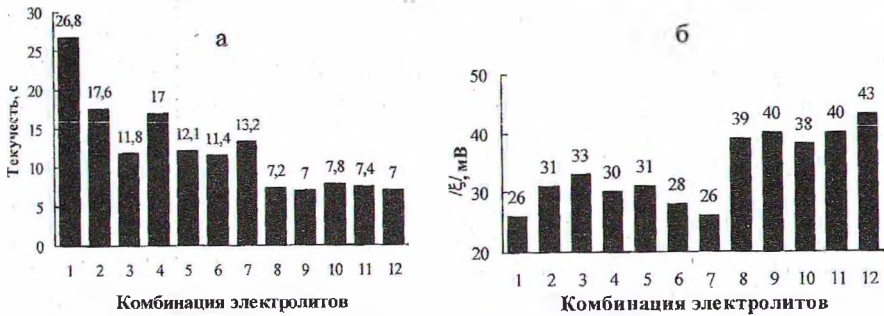


Рис. 2. Влияние различных комбинаций электролитов на текущность (а) и электрокинетический потенциал (б) шликера

**Комбинации электролитов:** 1 - 0,1%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,1%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ ; 2 - 0,2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,1%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ ; 3 - 0,2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,15%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ ; 4 - 0,3%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,1%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ ; 5 - 0,2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,2%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ ; 6 - 0,2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,3%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ ; 7 - 0,1%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,2%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ ; 8 - 0,2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,15%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ +0,05%  $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$ ; 9 - 0,2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,15%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ +0,1%  $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$ ; 10 - 0,2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,15%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ +0,03% УЩР; 11 - 0,2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,15%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ +0,05% УЩР; 12 - 0,2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +0,15%  $\text{Na}_2\text{O}$ ·2,8  $\text{SiO}_2$ +0,05%  $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$ +0,03% УЩР

При использовании данной комбинации электролитов достигаются следующие характеристики шликера: текущность – 7 с; коэффициент загустеваемости – 1,2; величина  $\zeta$ -потенциала – 43 мВ, рН – 8,7.

Изделия, изготовленные на ОАО «Белхудожкерамика» на основе предложенных составов и технологии по эксплуатационным, эстетическим и санитарно-гигиеническим характеристикам отвечают требованиям СТБ 841–2003 «Изделия керамические народных художественных промыслов. Общие технические условия» и не уступают аналогичным полуфарфоровым изделиям, импортируемым из Германии.

Разработан и утвержден технологический регламент производства плотнospекшихся керамических изделий хозяйственного назначения на ОАО «Белхудожкерамика».

Оптимальный состав массы внедрен в производство керамических штофов. Подана заявка на изобретение. Экономический эффект от внедрения разработки на 40000 шт. изделий составляет 169,67 млн. руб. (78798 долларов США).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный комплекс экспериментальных исследований, апробации и внедрения результатов по получению плотнospекшихся керамических изделий хозяйственного назначения позволил сделать следующие выводы:

1. Установлены особенности процессов спекания керамических материалов, полученных на основе многокомпонентных систем, включающих полиминеральные глины, комплексный плавленый и отощающую добавку при низкотемпературных (1000–1050 °С) режимах обжига, уточнен механизм формирования плотнospек-



шейся структуры. Определено, что спекание керамических материалов происходит преимущественно по жидкофазному механизму, заключающемуся в образовании при низких температурах обжига значительных количеств маловязкого алюмоборосиликатного расплава, обеспечивающего активное заполнение порового пространства до остаточного объема 1–7 %, а также кристаллизацию из расплава анортита, выполняющего наряду с остаточным кварцем армирующую роль в формировании плотносспекшейся структуры материала. Это обеспечило получение влагонепроницаемого черепка изделий с водопоглощением 0,6–3,0 %, какущейся плотностью до 2426 кг/м<sup>3</sup>, механической прочностью при сжатии до 90 МПа, высокой термостойкостью – более 30 теплосмен [1,4].

2. Получены уравнения регрессии для зависимости свойств: водопоглощения, кажущейся плотности, открытой пористости и ТКЛР плотносспекшихся керамических материалов от состава шихт, которые позволяют с достаточной для практики точностью прогнозировать указанные характеристики свойств и решать рецептурно-технологические задачи (проектирование составов керамических материалов с заданными свойствами и структурой). На основании уравнений регрессии построены линии равных значений свойств, анализ которых показывает, что наиболее значимым фактором, определяющим характеристики синтезированных материалов, является содержание алюмоборосиликатного стеклотранюлята.

3. Комплексное исследование структуры образцов впервые позволило получить дополнительные сведения о структуре синтезированных плотносспекшихся керамических материалов; изучить кинетику процессов растворения и кристаллизации фаз; проследить характер распределения и количественное содержание кристаллической, стекловидной и газовой фаз, размеры и морфологию кристаллов; установить колебания химического состава в различных локальных участках материала, а также построить карту распределения химических элементов. Выявлена корреляция расчетного и экспериментально определенного микронзондированием химического состава материала, незначительные колебания содержания оксидов в различных локальных участках, свидетельствующие о микронеоднородности керамики, обусловленной особенностями фазового состава, количеством и соотношением кристаллической и стекловидных фаз.

Материалы на основе оптимальных составов включают до 30–35 % стекловидной фазы, суммарное содержание кристаллов анортита и  $\alpha$ -кварца достигает примерно 40 % при доминирующем количестве анортита; содержание газовой фазы составляет 3–7 %, а остальное – аморфизированное глинистое вещество [1,4,6,8].

Установлена и экспериментально подтверждена возможность осуществления структурно-управляемого синтеза материалов путем варьирования химического состава масс, комбинаций флюсующих компонентов, а также температурно-временных режимов обжига. Оптимальные характеристики свойств достигаются при соотношении оксидов типа RO/R<sub>2</sub>O в пределах 0,9–1,3, сумме (RO+R<sub>2</sub>O+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 17–18 %, наличием 1,8–2,7 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и не менее 18 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [1, 4, 8].

4. Экспериментально подтверждена возможность использования в составах масс отходов обогащения железистых кварцитов и стеклобоя различных видов, вызывающих незначительное снижение физико-химических свойств плотнеспекшейся керамики. Определено, что исследованные отходы магнитной сепарации железистых кварцитов, вводимые в количестве 10–20 %, одновременно выполняют флюсующую и отошающую функцию, способствуют повышению устойчивости изделий к деформации при спекании и могут найти применение в качестве компонента сырьевых масс. Выявлена возможность частичной замены стеклогранулята стеклобоем различных видов и их совместного с нефелин-сиенитом введения в составы плотнеспекшихся масс в соотношении 1:1,2 при сохранении высоких эксплуатационных характеристик материалов [3, 9–12].

5. Изучено влияние различных видов электролитов (кальцинированная сода, жидкое стекло, триполифосфат натрия, углекислотный реагент), вводимых как индивидуально, так и в комплексе на реологические, электрокинетические и технологические свойства керамических шликеров. Определено, что введение каждого из электролитов отдельно неэффективно, так как не обеспечиваются реологические характеристики шликеров, позволяющие получать качественные отливки изделий, что обусловлено полиминеральностью используемого глинистого сырья и многокомпонентностью составов масс. Экспериментально показана эффективность применения комбинации из четырех электролитов, вводимых в количестве 0,4–0,45 %, обеспечивающих улучшение реологических характеристик и высокую агрегативную устойчивость многокомпонентных жидкотекучих керамических масс за счет активного участия в ионообменных процессах как катионов, так и анионов электролитов и возникновения эффекта синергизма, а также возможного действия электролитов как поверхностно-активных веществ. При использовании данного сочетания разжижителей достигаются следующие характеристики шликера: текучесть – 7 с; коэффициент загустеваемости – 1,2; величина  $\xi$ -потенциала – 43 мВ [2].

6. Разработана промышленная технология получения плотнеспекшихся керамических изделий хозяйственного назначения при низкотемпературных режимах обжига методом шликерного литья и обжигом в электрических печах [5, 7, 13, 14]. Разработанные составы керамических масс прошли опытно-промышленную апробацию в условиях ОАО «Белхудожкерамика», а оптимальный состав (№ 1.21) внедрен в производство керамических штофов. Разработан и утвержден технологический регламент.

Экономический эффект от внедрения разработанных составов масс и технологии получения плотнеспекшихся изделий составит 169,67 млн. руб. (78798 долларов США) на 40000 штук.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Климош Ю.А., Левицкий И.А. Особенности формирования структуры плотносспекшихся керамических изделий низкотемпературного обжига // Весці Нац. акадэміі навук Беларусі. Сер. хіміч. навук.– 2004.– №4.– С.110–113.
2. Климош Ю.А., Левицкий И.А. Реологические свойства шликеров на основе полиминеральных глин с добавкой электролитов // Стекло и керамика.– №11.– 2004.– С.19–22.
3. Левицкий И.А., Баранцева С.Е., Павлокевич Ю.Г., Климош Ю.А. Комплексное исследование продуктов обогащения железных руд для получения силикатных материалов // Стекло и керамика.– № 12.– 2004.– С.20–22.
4. Климош Ю.А. Особенности формирования структуры плотносспекшихся керамических изделий хозяйственного назначения // Сборник трудов мол. ученых Нац. академии наук Беларуси.– 2004, т.4.– Мн.: ИП «Логвинов».– 2004.– С. 14–18.
5. Климош Ю.А. Технология получения плотносспекшихся керамических масс для хозяйственной керамики // “НИРС–2002”: Сборник статей VII респ. научн. конф. студентов и аспирантов, Витебск, 22–23 октября 2002.– Витебск: ВГТУ.– 2002.– С.129–130.
6. Левицкий И.А., Гайлевич С.А., Бирюк В.А., Климош Ю.А. Плотносспекшаяся керамическая масса для изделий хозяйственного назначения // Материалы белорусско-польского научн.-практич. семинара, Брест, 9–11 октября 2002.– Брест: БрГТУ.– 2002.– С.197.
7. Особенности технологии получения плотносспекшихся керамических изделий бытового назначения / И.А.Левицкий, С.А. Гайлевич, В.А. Бирюк, Ю.А. Климош // Новые технологии в химической промышленности.: Материалы межд. научно-техн. конф., Минск, 20–22 ноября 2002 – Мн.: БГТУ.– 2002.– С.112–115.
8. Климош Ю.А. Особенности формирования структуры и фазового состава плотносспекшихся керамических масс // Материалы III межд. межвуз. научн.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 24–25 апреля 2003. – Гомель: ГГТУ.– 2003.– С.126–129.
9. Климош Ю.А., Левицкий И.А. Исследование влияния различных видов стеклобоя на свойства плотносспекшихся керамических изделий хозяйственного назначения // Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства.: Материалы межд. научн.–техн. конф., Витебск, 4 ноября 2003.– Витебск: ВГТУ.– 2003.– С.199–203.
10. Климош Ю.А., Левицкий И.А. Влияние различных флюсоющих добавок на процессы низкотемпературного обжига плотносспекшихся керамических масс // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии.: Материалы межд. научн.-техн. конф., Могилев, 22–23 апреля 2004. – Могилев: Бел.- рос. унив-т.– 2004.– С.170–171
11. Климош Ю.А., Левицкий И.А. Использование различных видов стеклобоя при изготовлении плотносспекшихся изделий // Новые технологии рециклинга

отходов производства и потребления.: Материалы межд. научн.-техн. конф., Минск, 24–26 ноября 2004. – Мн.: БГТУ.– 2004.– С. 318–321.

12. Утилизация отходов обогащения железных руд / И.А.Левецкий, Ю.Г. Павлюкевич, Л.Ф. Папко, С.Е. Баранцева, Ю.А. Климош // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления.: Материалы межд. научн.-техн. конф., Минск, 24–26 ноября 2004. – Мн.: БГТУ.– 2004.– 280–283.

13. Плотнспекшиеся керамические массы низкотемпературного обжига для бытовой керамики / И.А.Левецкий, С.А. Гайлевич, В.А. Бирюк, Ю.А. Климош // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии.: Тезисы докл. научн.-техн. конф., Гродно, 25–26 июня 2002.– Гродно: ГрГУ.– 2002.– С.77–79.

14. Климош Ю.А. Разработка составов плотнспекшихся масс и технологии получения бытовой керамики // “НИРС-2003”: Тезисы докл. VIII-й Республ. научн. конф. студентов и аспирантов, Минск, 9–10 декабря 2003. – Мн.: БНТУ.– 2003.– С.196.

Ю. Климош

**РЕЗЮМЕ**

КЛИМОШ Юрий Александрович

**ПЛОТНОСПЕКШИЕСЯ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЖИГА ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**ПОЛИМИНЕРАЛЬНАЯ ГЛИНА, КОМБИНИРОВАННЫЙ ПЛАВЕНЬ,  
СТЕКЛОГРАНУЛЯТ, НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ОБЖИГ,  
ПЛОТНОСПЕКШИЙСЯ МАТЕРИАЛ, СТРУКТУРА, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ,  
ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ**

Объект исследования – плотнospекшиеся керамические изделия хозяйственного назначения, полученные при низкотемпературных режимах обжига (1000–1050 °С). Предмет исследования – многокомпонентные системы, включающие полиминеральные глины, комплексный пламень и отощающую добавку; физико-химические свойства, структура, фазовый состав материалов.

Цель работы – разработка составов масс и технологии получения плотнospекшихся керамических материалов низкотемпературного обжига; изучение процессов и выявление закономерностей структуро- и фазообразования во взаимосвязи с химическим составом масс, физико-химическими характеристиками синтезированных материалов и температурно-временными режимами обжига.

В работе использованы рентенофазовый и дифференциально-термический анализы, электронно-зондовый микроанализ, оптическая и электронная микроскопия, инфракрасная спектроскопия. Применены дериватограф OD-102, дифрактометр ДРОН-3, спектрофотометр Specord-IR-75, электронный дилатометр ДП 402 РС, сканирующий электронный микроскоп JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 JEOL, оптический микроскоп LEICA-DMLB и другие.

Расширены сведения о процессах спекания керамических материалов, полученных на основе исследуемых систем. Установлена определяющая роль алюмоборосиликатного стеклогранулята, обеспечивающего образование маловязкого расплава, обуславливающего активную кристаллизацию из расплава анортита, выполняющего наряду с остаточным кварцем армирующую роль в создании пространственной стеклокристаллической структуры, а также заполнение порового пространства.

Установлена и экспериментально подтверждена возможность осуществления структурно-управляемого синтеза материалов путем варьирования их химического состава, комбинаций флюсоющих компонентов, а также температурно-временных режимов обжига.

Разработана промышленная технология получения плотнospекшихся керамических изделий, утвержден технологический регламент. Проведена опытно-промышленная апробация разработанных составов в условиях ОАО «Белхудожкерамика», а оптимальный состав внедрен в производство керамических штофов.

## РЭЗЮМЭ

КЛПМАШ Юрый Аляксандравіч

ШЧЫЛЬНАСПЕЧАНЫЯ КЕРАМІЧНЫЯ МАТЭРЫЯЛЫ  
НІЗКАТЭМПЕРАТУРНАГА АБПАЛУ ДЛЯ ГАСПАДАРЧЫХ ВЫРАБАЎ

ПОЛІМІНЕРАЛЬНАЯ ГЛІНА, КАМБІНАВАНЫ ПЛАВЕНЬ, ШКЛОГРАНУЛЯТ,  
НІЗКАТЭМПЕРАТУРНЫ АБПАЛ, ШЧЫЛЬНАСПЕЧАНЫ МАТЭРЫЯЛ,  
СТРУКТУРА, ФАЗАВЫ САСТАЎ, ВОДАНЕПРАНІКАЛЬНАСЦЬ,  
ШЧЫЛЬНАСЦЬ, ВОДАПАГЛЫНАННЕ

Аб'ект даследавання – шчыльнаспечаныя керамічныя матэрыялы гаспадарчага прызначэння, атрыманыя пры нізкатэмпэратурных рэжымах абпалу (1000–1050 °С). Прадмет даследавання – шматкампанентныя сістэмы, якія змяшчаюць полімінэральныя гліны, камбінаваны плавень і збядняючую дабаўку; фізіка-хімічныя ўласцівасці, структура, фазавы састаў матэрыялаў.

Мэта работы – распрацоўка саставаў мас і тэхналогіі атрымання шчыльнаспечаных керамічных вырабаў нізкатэмпэратурнага абпалу; вызначэнне працэсаў і выяўленне заканамернасцяў структура- і фазавутварэння ва ўзаемасувязі з хімічным саставам мас, фізіка-хімічнымі характарыстыкамі распрацаваных матэрыялаў і тэмпературна-часавымі рэжымамі абпалу.

У рабоце выкарыстаны рэнтгенафазавы і дыферэнцыяльна-тэрмічны аналізы, электронна-зондавы мікрааналіз, аптычная і электронная мікраскапія, інфрачырвоная спектраскапія. Скарыстаны дэрыватграф OD-102, дыфрактометр ДРОН-3, спектрафотометр Specord-IR-75, электронны дылатометр DIL 402 PC, сканіруючы электронны мікраскоп JSM-5610 LV з сістэмай хімічнага аналізу EDX JED-2201 JEOL, аптычны мікраскоп LEICA-DMLB і іншыя.

Расшыраны звесткі аб працэсах спякання керамічных матэрыялаў, атрыманых на аснове даследуемых сістэм. Устаноўлена вызначальная роля алюмаборасілікатнага шклогрануляту, які забяспечвае ўтварэнне малавязкага расплаву, што абумоўлівае актыўную крышталізацыю анартыту, які разам з рэшткамі кварцу выконвае арміруючую ролю ва ўтварэнні прасторавай крышталічнай структуры, а таксама запаўненне поравай прасторы.

Вызначана і эксперыментальна пацверджана магчымасць ажыццяўлення структурна-кіруемага сінтэзу матэрыялаў шляхам вар'іравання іх хімічнага саставу, камбінацый флюсоўчых кампанентаў, а таксама тэмпературна-часавых рэжымаў абпалу.

Распрацавана прамысловая тэхналогія атрымання шчыльнаспечаных керамічных вырабаў, зацверджаны тэхналагічны рэгламент. Праведзена доследна-прамысловая апрацацыя распрацаваных саставаў ва ўмовах ААТ «Белмастацке-раміка», аптымальны састаў укаранены ў вытворчасць керамічных штофаў.

**SUMMARY**

KLIMOSH Jury A.

**HIGH-FRITTED CERAMIC MATERIALS OF LOW-TEMPERATURE FIRING FOR HOUSEHOLD PURPOSES**

POLYMINERAL CLAY, COMPLEX FLUX, FRITT, LOW-TEMPERATURE FIRING, HIGH-FRITTED MATERIAL, STRUCTURE, PHASE STRUCTURE, WATER RESISTANCE, DENSITY, WATER ABSORPTION

The research object is high-fritted ceramic products for household purposes, received at low-temperature modes of firing (1000–1050 °C). The research object – multi-component systems including polymineral clays, complex flux and thinning agent; physical and chemical properties, structure, phase structure of materials.

The subject – matter of the work is development of mass compositions and technology of ceramic materials production of low-temperature firing; investigation of processes and revealing of laws of structure and phase formation in interrelation with chemical composition of masses, physical-chemical characteristics of the synthesized materials and temperature-time modes of firing.

X-rays and differential-thermal analyses, scanning electronic microscopy equipped with the system of microzond chemical analysis, optical and electronic microscopy, IR-spectroscopy have been used in the work. Derivatograph OD-102, diffractometer DRON-3, spectrophotometer Specord-IR-75, electronic dilatometer DIL 402 PC, scanning electronic microscope JSM-5610 LV with the system of chemical analysis EDX JED-2201 JEOL, optical microscope LEICA-DMLB have been used.

Data on sintering processes of the ceramic materials, received on the basis of the investigated systems have been expanded. The determining role of aluminaboronsilicate fritt, providing formation of low-viscosity melt, causing active crystallization of anortite, creating both and residual quartz spatial glass ceramic structure have been established.

The opportunity of realization of structurally-controlled synthesis of materials by variation of chemical composition of masses, combinations of flux components, and also temperature-time modes has been established and experimentally has been confirmed.

The industrial technology of production of high-fritted ceramic materials has been developed. The technological rules of their production have been authorized. The developed composition have passed industrial approbation in conditions of the JSC «Belhudoschkeramica». The optimum composition has been introduced into manufacture of ceramic shtofs.