

На правах рукописи

**Логинова Елена Владимировна**

**КЕРАМИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВСПЕНИВАНИЯ  
НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИЙ ГЛИНИСТОГО  
И НЕПЛАСТИЧНОГО СЫРЬЯ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

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

Красноярск 2012

Работа выполнена в Хакасском техническом институте – филиале Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук  
**Шильцина Антонида Даниловна**

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор  
**Бурученко Александр Егорович**

доктор технических наук,  
профессор  
**Плетнев Петр Михайлович**

Ведущая организация: **ГОУ ВПО «Новосибирский  
государственный архитектурно-  
строительный университет»**

Защита состоится «24» февраля 2012 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.08 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, корпус К, ауд.120. тел. (8-391) 206-27-59 факс (8391) 206-27-59, e-mail: end-lev@yandex.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Автореферат разослан «\_\_\_» января 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

**Е. В. Пересыпкин**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Дефицит долговечных, пожаробезопасных, био- и коррозионностойких неорганических теплоизоляционных материалов возможно снизить за счет выпуска штучных изделий в виде кирпича и блоков из высокопористой керамики на базе широко распространенного глинистого сырья. Пористая структура такой керамики может быть создана по энергоэффективной технологии низкотемпературного вспенивания масс при газовыделении, позволяющей изготовление штучных изделий обжигом в одну стадию, минуя стадию предварительного получения пористых гранул.

В настоящее время установлены отдельные виды добавок, которые можно использовать для низкотемпературного вспенивания (алюминиевая пудра и известь гашеная или высококальциевая зола) и стабилизации структуры вспененной массы (гипс строительный, портландцемент, цеолитовая порода, ультрадисперсный кремнезем и тонкодисперсный альбитофир).

Однако имеющиеся результаты исследований являются недостаточными для управления технологическим процессом получения низкотемпературным вспениванием керамических теплоизоляционных материалов на основе глинистого сырья, отличающегося дисперсностью, химическим, фазово-минеральным составом, степенью совершенства структуры слагающих глину минералов. Остаются актуальными и требуют решения вопросы функциональной роли компонентов, применяемых для получения водоглиносодержащих композиций достаточной вязкости и прочности, обеспечивающих их вспенивание и устойчивость после него, на стадии изготовления. Значимыми являются вопросы достижения достаточной прочности изделий без их деформации при снижении плотности после обжига.

Диссертационная работа выполнялась в рамках грантов Сибирского федерального университета: «Школа научного резерва» (2007–2008 гг.), «Инновационные экотехнологии в области сооружения и эксплуатации объектов урбанизированной инфраструктуры» (2008–2009 гг.) и «Теплоизоляционные и стеновые керамические материалы на основе композиций глин с техногенным силикатным сырьем» (2008–2009 гг.).

**Цель работы** – разработка составов и исследование свойств керамических теплоизоляционных строительных материалов из композиций глинистого и непластичного сырья, получаемых по энергоэффективной технологии низкотемпературного вспенивания.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи**:

- обобщение накопленного экспериментального материала в области использования глинистого и непластичного сырья в технологии производства керамических теплоизоляционных строительных материалов низкотемпературного вспенивания на основе композиций глинистого и непластичного сырья;
- исследование влияния вида и количества непластичного компонента,

жидкого стекла и 2Н раствора гидроксида натрия на изменение вязких свойств и упрочнения водоглиносодержащих композиций на стадии их изготовления;

- исследование физико-химических процессов формирования фазового состава в процессе обжига, структуры и свойств керамических теплоизоляционных материалов после обжига;

- разработка составов и исследование свойств керамических теплоизоляционных строительных материалов из композиций глинистого и непластичного сырья для их получения по технологии низкотемпературного вспенивания;

- проведение опытно-промышленных испытаний и разработка практических рекомендаций для изготовления и применения керамических теплоизоляционных строительных материалов низкотемпературного вспенивания на основе композиций глинистого и непластичного сырья.

### **Научная новизна работы**

1. Установлено, что в композициях на основе глинистых пород и непластичного сырья, включающих высококальцевую золу с содержанием 8–9 % свободного оксида кальция, формирование пористой структуры необходимой прочности при температуре 20–30 °С обеспечивается за счет взаимодействия оксида кальция золы с водой и глинистыми минералами и образования гидратных соединений, обладающих вяжущими свойствами. При последующем обжиге вспененных композиций оксид кальция золы участвует в образовании волластонита, обеспечивающего прочность пористой керамики.

2. Установлено, что в композиции, содержащие глину и непластичные компоненты, для их вспенивания при температуре 20–30 °С необходимо вводить раствор гидроксида натрия. При этом стабилизация пористой структуры после вспенивания достигается добавками жидкого стекла, а прочность – за счет добавок гипса. Стабилизация пористой структуры композиций после вспенивания при использовании добавки жидкого стекла достигается совокупностью вяжущих свойств самой добавки и гидросиликатов кальция, образующихся при ее химическом взаимодействии с глинистыми минералами. Повышение прочности пористой структуры композиций после вспенивания при введении добавки гипса обеспечивается вяжущими свойствами гипса. В процессе обжига керамики добавки жидкого стекла и гипса способствуют образованию упрочняющих керамику муллитоподобной фазы и анортита соответственно.

3. Установлено, что использованием в глиносодержащих композициях добавок, инертных при температуре 20–30 °С к химическому взаимодействию с глинистыми минералами, но выделяющих при гидролизе катионы разной валентности, можно изменять их вязкость и упрочнение с течением времени. Добавки, выделяющие при гидролизе преимущественно катионы Са, увеличивают вязкость и ускоряют упрочнение водоглиносодержащих композиций. Добавки, выделяющие преимущественно катионы Na, катионы нескольких видов (Na, K, Са или Са, Mg) и незначительное количество в основном за счет небольшого содержания кальцита катионов Са, снижают

вязкость при ускорении упрочнения водоглиносодержащих композиций. Снижение вязкости композиции тем сильнее, чем выше вероятность образования в жидко-вязкой среде катиона Na в его моновиде.

### **Практическая ценность работы**

1. Разработаны составы композиций на основе глинистого и непластичного сырья, обеспечивающие структурную прочность после вспенивания и получение керамических теплоизоляционных изделий с плотностью 410–750 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии 1,8–6,3 МПа.

2. Разработана технология получения теплоизоляционных керамических материалов и изделий, на базе применяемой технологии изготовления кирпича с введением в нее необходимых дополнительных технологических переделов, организованных на участке цеха изготовления кирпича с использованием того же оборудования (щековой дробилки, мельницы) и установкой недостающего (пропеллерной мешалки).

3. Предложены направления стабилизации структуры вспененных композиций путем введения в их состав высококальциевой золы (15–45 %) с содержанием 8–9 % свободного оксида кальция, 2Н раствора гидроксида натрия (30 %) с добавкой гипса строительного различных марок (0,8–5 %) или с добавкой жидкого стекла (5 %). Выявлен характер изменения вязких свойств и упрочнения водоглиносодержащих композиций при введении непластичных компонентов, выделяющих при гидролизе катионы Na и Ca как в моновиде, так и при их сочетании с катионами K и Mg.

**Реализация результатов работы.** В цехе строительных материалов некоммерческой организации «Муниципальный жилищный фонд г. Абакана» (Хакасия) проведены опытно-промышленные испытания изделий из масс двух составов с плотностью 520–610 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии 2,9–3,6 МПа. На технологию изготовления блочных керамических теплоизоляционных строительных материалов разработан технологический регламент.

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе на кафедре «Строительство» Хакасского технического института – филиала Сибирского федерального университета при изучении курсов «Строительное материаловедение», «Физическая химия строительных материалов» и «Композиционные строительные материалы».

### **Автор защищает:**

- выявленные физико-химические процессы изменения вязкости и упрочнения водоглиносодержащих композиций с добавками непластичных компонентов, жидкого стекла и гидроксида натрия, изменения структурной прочности вспененных композиций;

- установленные физико-химические процессы формирования фазового состава, структуры и свойств керамических теплоизоляционных строительных материалов после обжига;

- разработанные составы, свойства и результаты опытно-промышленных испытаний керамических теплоизоляционных строительных материалов с

прочностью при сжатии 1,8–6,3 МПа при плотности 410–750 кг/м<sup>3</sup>, полученных по энергоэффективной технологии низкотемпературного вспенивания.

**Апробация работы.** Материалы диссертации доложены и обсуждены на 9 конференциях международного, всероссийского и регионального уровней, в городах: Саратов (2009 г.), Новосибирск (2009 г.), Абакан, (2006, 2007, 2008, 2009 гг.); Пенза, (2006 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 21 научная работа, в том числе 15 статей, 3 из которых – в журналах по списку ВАК.

**Структура работы.** Диссертация состоит из 5 глав, основных выводов, библиографического списка из 147 наименований и приложений. Работа изложена на 188 страницах машинописного текста, содержит 39 таблиц и 56 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность исследований, поставлена цель работы, определены задачи исследований, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** показаны преимущества применения керамических теплоизоляционных строительных материалов в современном строительстве, проведен анализ данных по видам сырья, составам масс, свойствам материалов, рассмотрены способы получения пористых структур керамических материалов, изложенные в работах И. И. Китайцева, И. Л. Гузмана, Ю. П. Горлова П. П. Будникова, В. И. Верещагина, Л. К. Казанцевой, В. Ф. Завадского и др.

Обоснована целесообразность получения керамических теплоизоляционных материалов из композиций на основе глинистых пород по энергоэффективной технологии низкотемпературного вспенивания при газовыделении с последующим закреплением пористой структуры обжигом. Показано, что необходимыми условиями получения пористого материала являются: на стадии вспенивания – получение пористой структуры достаточной прочности, на стадии спекания – достижение необходимой прочности без деформации изделий. Обоснована необходимость выполнения дальнейших исследований в направлении стабилизации структурной прочности вспененных композиций путем изменения вязких свойств и упрочнения водоглиносодержащих композиций за счет катионного обмена в них, путем введения добавок и формирования соединений, обладающих вяжущими свойствами. Показана целесообразность обеспечения прочности керамики при снижении ее плотности за счет использования в составе композиции добавок структуро- и плавнеобразующих компонентов. На основании анализа данных научной литературы сформированы цель и задачи исследований.

**Во второй главе** содержится описание результатов исследования минерального, гранулометрического составов, технологических и керамических свойств исходных материалов, обосновывается целесообразность их применения в составах масс для разработанных материалов. Излагаются методы исследования сырья и керамических теплоизоляционных материалов, приводится и обосновывается структурно-методологическая схема работы.

Химический состав применяемых видов сырья приведен в табл.1.

Таблица 1

| Сырьевой материал                  | Содержание оксидов, % мас. |                                |                  |                                |                 |       |                   |                  |        |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|-------|-------------------|------------------|--------|
|                                    | SiO <sub>2</sub>           | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO             | MgO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | п.п.п. |
| Глина изыхская                     | 61,26                      | 16,45                          | 0,31             | 4,76                           | 4,82            | 1,41  | 0,43              | 0,32             | 9,18   |
| Аргиллиты желтой разности          | 58,12                      | 20,35                          | 0,01             | 6,01                           | 3,17            | 1,66  | 1,20              | 2,30             | 8,20   |
| Аргиллиты черной разности          | 51,86                      | 15,70                          | 0,48             | 5,57                           | 1,73            | 2,21  | 1,80              | 2,90             | 12,00  |
| Волластонитовая порода             | 51,70                      | 0,11                           | —                | 0,31                           | 46,08           | 1,23  | 0,25              |                  | 0,32   |
| Диопсидсодержащая порода           | 57,80                      | 0,18                           | 0,03             | 0,09                           | 23,30           | 13,40 | 0,09              | 0,06             | 5,05   |
| Песок сорский кварц-полевошпатовый | 62,05                      | 15,94                          | 0,58             | 4,18                           | 4,72            | 2,01  | 4,27              | 3,85             | 2,39   |
| Шлак высококальциевый              | 50,69                      | 8,09                           | —                | 8,94                           | 27,51           | 3,50  | 0,27              | 0,20             | 0,80   |
| Зола высококальциевая              | 46,24                      | 6,56                           | 0,84             | 7,78                           | 29,28*<br>(8-9) | 5,28  | 0,51              | 0,24             | 1,44   |
| Стеклобой                          | 67,40                      | 5,81                           | —                | 1,76                           | 7,21            | 3,38  | 12,73             | 2,0              | —      |

\*– в скобках приведено содержание CaO в свободном виде.

Применение глины изыхской и аргиллитов двух разностей обусловлено высокими пластическими (число пластичности 13–20 для аргиллитов, 19–29 для глины изыхской) и связующими свойствами, определяющими процесс вспенивания масс и стабилизации их структуры.

Диопсидсодержащая и волластонитовая породы, сложенные минералами диопсидом и волластонитом, соответственно, и некоторым количеством кальцита, высококальциевый шлак, состоящий из стеклофазы (80–90 %) кальций-ферроалюмосиликатного состава и кристаллофазы (10–20 %) из минералов анортита, диопсида, волластонита, и кварц-полевошпатовый сорский песок, содержащий ортоклаз, альбит и анортит, являются перспективными как структуро- и плавнеобразующие добавки для формирования прочной межпоровой матрицы пористой керамики из композиций с их использованием. Необходимость применения стеклобоя связана с его способностью интенсифицировать процесс спекания и формирования фазового состава межпоровой матрицы пористой керамики.

Введение добавок стеклобоя, кварц-полевошпатового сорского песка, высококальциевого шлака, диопсидсодержащей и волластонитовой пород в водоглиносодержащие композиции, кроме того, предполагает возможность образования в жидко-вязких композициях катионов от одного (Na или Ca) до двух – трех видов различной валентности (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>; Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>), обеспечивающего вероятность изменения их вязких свойств и упрочнения с течением времени за счет катионного обмена.

Появление катионов в жидко-вязкой среде при введении добавок кварц-полевошпатового сорского песка (Na, K, Ca) и высококальциевого шлака (Ca) вполне вероятно при гидролизе входящих в их состав полевошпатовых минералов, протекающего по реакции



Способность диопсида образовывать твердые растворы с анортитом, свидетельствующая о его кристаллохимическом сродстве с полевыми шпатами,

дает основание считать, что выделение катионов Ca и Mg диопсидом возможно за счет подобного его взаимодействия с водой. Присутствие кальцита в волластонитовой породе, трудно, но растворяющегося в воде, может быть источником появления некоторого количества катиона Ca в водоглиносодержащих композициях с этой породой. Наличие свойства поверхностной проводимости у стекол, возникающей при взаимодействии поверхности стеклянных изделий с влагой атмосферы, предполагает вероятность гидролиза стеклобоя с выделением преобладающего в применяемом стеклобое щелочного катиона Na как наиболее подвижного.

Высококальциевая зола, содержащая 8–9 % свободного оксида кальция (табл.1), при действии воды образует гидроксид кальция, необходимый для низкотемпературного вспенивания композиций при его взаимодействии с алюминиевой пудрой ПАП – 2 (ГОСТ 5494 – 95). Наличие вяжущих свойств у высококальциевой золы (начало схватывания 20–25 мин., конец – 50–60 мин.) определяет возможность стабилизации структуры композиций после вспенивания. 2Н раствор гидроксида натрия в композициях, не содержащих высококальциевую золу, обеспечивает их вспенивание за счет реакции с алюминиевой пудрой. Добавки гипса строительного марок Г-6, Г-10 и Г-16 и жидкого стекла (ГОСТ 1308 – 81) с плотностью 1391 кг/м<sup>3</sup>, обладающие вяжущими свойствами (начало схватывания 3–11 мин., конец – 7–15 мин.), определяют вероятность стабилизации структуры вспененных композиций, содержащих гидроксид натрия.

При исследовании свойств сырья и полученных керамических теплоизоляционных материалов применялись методы химического, рентгенофазового анализа на установке ДРОН-3, комплексный дифференциально-термический анализ с помощью установки Jupiter STA 449 F1 немецкой фирмы NETZSCH с нагреванием образца в атмосфере инертного газа аргона, микроскопический анализ. Коэффициент теплопроводности определялся с применением установки ИТП-МГ4. Вязкость водоглиносодержащих композиций определялась по времени их истечения из цилиндра диаметром 20 мм с выпускным отверстием внизу 5 мм после выдержки в нем в течение 15 с. Прочность водоглиносодержащих композиций при выдержке, косвенно характеризующая их способность после вспенивания сохранять пористую структуру, устанавливалась в миллиметрах по глубине погружения конуса высотой 56 мм с углом 30° и массой 120 г в лепешки, образующиеся при расплыве композиций на стеклянной пластинке.

**В третьей главе** изложены результаты исследования изменения вязких свойств и упрочнения водоглиносодержащих композиций с течением времени при введении в них добавок непластичных компонентов, жидкого стекла и 2Н раствора гидроксида натрия, представлены результаты исследования физико-химических процессов в водоглиносодержащих композициях при температуре 20–30 °С, представлены результаты исследования влияния перечисленных добавок на спекание глинистых пород и фазообразование в них при обжиге.

Исследования изменения вязких свойств водоглиносодержащих компози-



ций и упрочнения их с течением времени проводились с применением в качестве глинистых пород глины изыхской и смеси аргиллитов желтой (50 %) и черной (50 %) разностей, определенной как наиболее эффективной по сравнению с их отдельными разностями. Глина изыхская от смеси аргиллитов отличается более высоким содержанием каолинита и глинистых частиц, в том числе частиц размером менее 0,001 мм (53,1 и 21,01 % соответственно).

Глинистые породы и добавки непластичных компонентов использовались с дисперсностью, установленной как наиболее рациональной для спекания керамики. Глинистые породы измельчались до прохода через сито 0,16 мм. Высококальциевая зола, содержащая более 90 % частиц размером менее 0,08 мм, использовалась как готовый компонент. Гипс строительный марок Г-6, Г-10 применялся стандартной тонкости помола с остатком 7–14,3 % на сите 0,02 мм, гипс Г-6, кроме того, – с тонкостью помола менее 0,16 мм. Диоксидсодержащая и волластонитовая породы, кварц-полевошпатовый сорский песок, шлак и стеклобой измельчались до остатка не более 5 % на сите 0,063 мм. Исходные компоненты смешивались с водой в течение 5 мин. Для сравнимости полученных свойств и выявления влияния вида глинистых пород, вида добавок и их количества на изменение свойств водоглиносодержащих композиций В/Т в них сохранялось постоянным и составляло 0,53, выявленное как достаточное для получения текучей смеси.

Экспериментально установлено (рис. 1), что при температуре 20–30 °С добавки кварц-полевошпатового сорского песка в количестве до 45 %, диоксидсодержащей и волластонитовой пород и стеклобоя в количестве до 20 % снижают вязкость водоглиносодержащих композиций при ускорении упрочнения. Добавки высококальциевого шлака и золы в количестве до 45 %, гипса строительного до 10 %, добавки жидкого стекла и 2Н раствора гидроксида натрия в количестве до 8 и 33 %, соответственно, увеличивают вязкость водоглиносодержащих композиций при их упрочнении с течением времени.

Рентгенофазовым анализом обнаружено, что при температуре 20–30 °С в глиносодержащих композициях с добавкой гипса происходит кристаллизация двухводного сульфата кальция (табл. 2), свидетельствующая о проявлении гипсом вяжущих свойств в этих композициях. В глиносодержащих композициях с добавками высококальциевой золы, жидкого стекла, характеризующихся самостоятельно вяжущими свойствами, и 2Н раствора гидроксида кальция, не имеющего их, установлено образование гидросиликатов кальция, гидросиликатов и гидроалюмосиликатов натрия.

На рентгенограммах водоглиносодержащих композиций с добавками стеклобоя, кварц-полевошпатового сорского песка, высококальциевого шлака, волластонитовой и диоксидсодержащей пород выявлено отсутствие образования новых фаз, свидетельствующее об инертности этих добавок к химическому взаимодействию с глинистыми минералами в водной среде при температуре 20–30 °С. Вместе с тем экспериментально установлено изменение рН дистиллированной воды с добавками этих компонентов, размолотыми до тонкости, с которой их применяли в составах водоглиносодержащих

композиций (табл. 3), подтверждающее наличие протекания процессов катионного обмена в водоглиносодержащих композициях с этими добавками, влияющих на изменение вязких свойств и упрочнение водоглиносодержащих композиций.

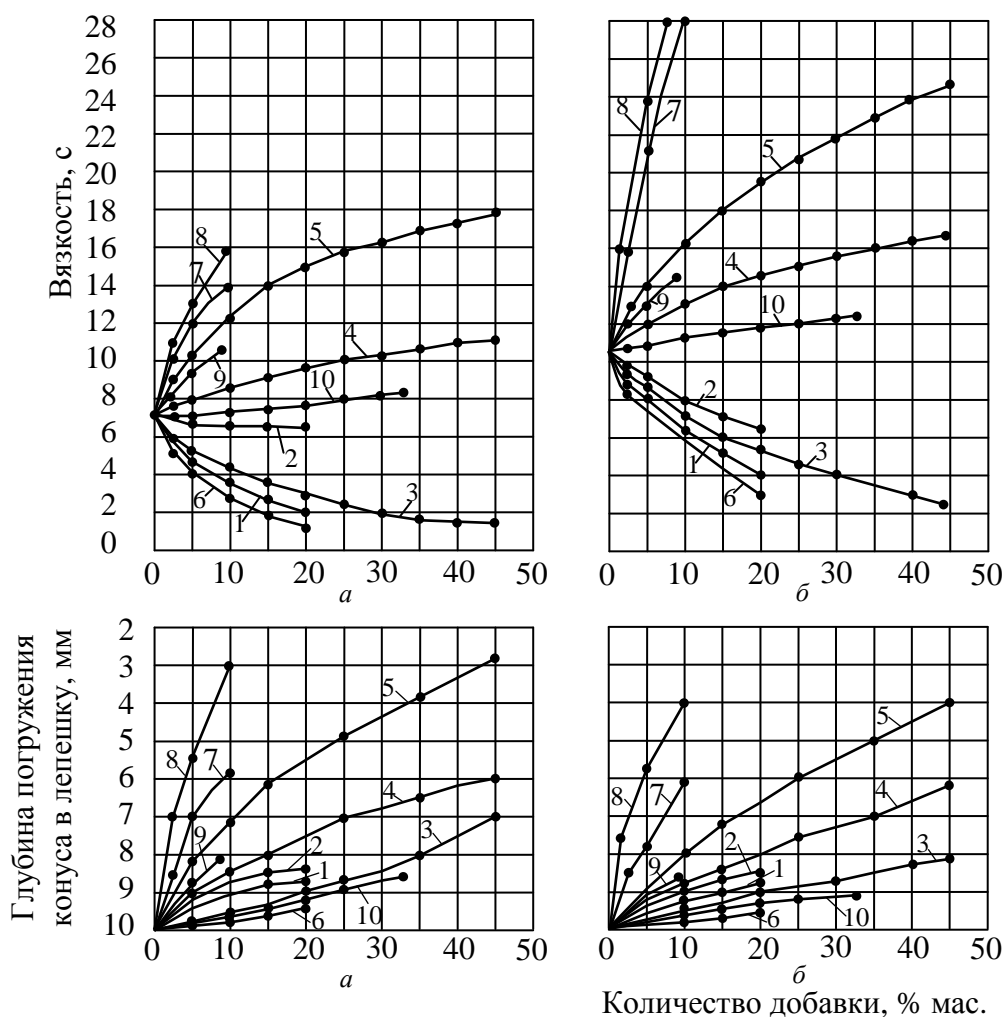


Рис. 1. Изменение вязкости водоглиносодержащих композиций на основе глины (а) и смеси аргиллитов (б) и их упрочнения после выдержки в течение 4 ч в зависимости от количества добавок: 1 – диоксидсодержащей породы; 2 – волластонитовой породы; 3 – кварц-полевошпатового сорского песка; 4 – высококальциевого шлака; 5 – высококальциевой золы; 6 – стеклобоя; 7 – гипса Г-6; 8 – гипса Г-10; 9 – жидкого стекла; 10 – 2Н раствора гидроксида натрия

Таблица 2  
Образующиеся кристаллические фазы в отвердевших водоглиносодержащих композициях по данным рентгенофазового анализа

| Вид и количество, % мас., добавки в композиции | Название фаз и их межплоскостные расстояния ( $d \cdot 10^{-10}$ ), м   |
|--|---|
| Гипс Г-10 (5%)                                 | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 7,6553; 3,0566; 2,8615; 2,6771; 2,2136; 2,0756                                    |
| Гидроксид натрия 2Н (33%)                      | $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – 6,2350; 3,6238; 2,6222     |
| Жидкое стекло (8%)                             | $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ / CSH(A) – 5,4927; 4,6165; 3,1270; 2,7561/ 6,2602; 3,0821; 2,7244; 2,6099 |
| Высококальциевая зола (45%)                    | CSH / $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_2$ / $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 2,7798; 1,8749/2,4865/2,6231                              |

Таблица 3

## Значения рН воды с добавками компонентов

| Вид компонента, содержащегося в воде                     | рН воды при истечении |      |
|--|-----------------------|------|
|  | 30 мин.               | 12 ч |
| Смесь аргиллитов желтой (50 %) и черной (50 %) разностей | 7                     | 7    |
| Глина изыхская   | 7                     | 7    |
| Волластонитовая порода                                   | 7,5                   | 7,5  |
| Диопсидсодержащая порода                                 | 8                     | 8    |
| Кварц-полевошпатовый сорский песок                       | 7,5                   | 7,5  |
| Высококальциевый шлак                                    | 8,5                   | 8,5  |
| Стеклобой  | 9,5                   | 9,5  |

Анализ приведенных результатов показывает, что по характеру взаимодействия с глинистыми минералами при температуре 20–30 °С можно выделить две группы добавок: активные к химическому взаимодействию и инертные к нему. Добавки компонентов, активные к химическому взаимодействию с глинистыми минералами и образующие в результате него гидроалюмосиликаты натрия и гидросиликаты кальция, обладающие, как известно, вяжущими свойствами в момент формирования и переходящие в прочные кристаллогидраты с течением времени, увеличивают вязкость водоглиносодержащих композиций и их упрочнение с течением времени, гарантирующих получение пористой структуры достаточной прочности на стадии низкотемпературного вспенивания. Причем увеличение вязкости и упрочнения водоглиносодержащих композиций с химически активными добавками происходит более интенсивно в случае (рис. 1 а, 1 б), когда добавки компонентов (жидкое стекло, высококальциевая зола) самостоятельно обладают вяжущими свойствами. Инертная к химическому взаимодействию с глинистыми минералами, но обладающая вяжущими свойствами добавка гипса увеличивает вязкость водоглиносодержащих композиций и их упрочнение с течением времени тем интенсивнее, чем выше его марка (рис. 1), за счет проявления гипсом вяжущих свойств. Вследствие того, что гипс является быстро схватывающимся (начало схватывания 3–11 мин.) и быстро твердеющим вяжущим, интенсивность увеличения вязкости водоглиносодержащих композиций с его добавкой и упрочнение с течением времени самая высокая (рис. 1). Инертные к химическому взаимодействию с глинистыми минералами добавки компонентов, но выделяющие при гидролизе преимущественно катиониты Са (высококальциевый шлак) увеличивают вязкость и ускоряют упрочнение водоглиносодержащих композиций (рис. 1). Добавки, выделяющие при гидролизе преимущественно катионы Na (стеклобой), катионы нескольких видов (Na, K и Са – кварц-полевошпатовый сорский песок, Са и Mg – диопсидсодержащая порода) и незначительное, в основном за счет небольшого содержания кальцита, количество катионов Са (волластонитовая порода), также ускоряют упрочнение водоглиносодержащих композиций, однако снижают их вязкость. Снижение вязкости водоглиносодержащих

композиций тем значительнее, чем больше вероятность образования в жидко-вязкой среде катионов Na в его моновиде.

Эффект повышения вязкости водоглиносодержащих композиций с добавками разного вида, необходимой для стабилизации структуры вспененных композиций, тем значительнее, чем меньше каолинита и соответственно больше монтмориллонита в глинистой породе (рис. 1 б), вследствие того, что монтмориллонит по сравнению с каолинитом в большей степени увеличивает вязкость глин при увлажнении и более активно участвует в катионном обмене и химическом взаимодействии. За счет того, что действие добавок как отошителей проявляется интенсивнее на каолинитсодержащие глины, снижение вязкости водоглиносодержащих композиций с добавками компонентов, подвергающихся гидролизу (рис. 1 а, 1 б), и увеличение упрочнения их со всеми видами добавок, наиболее интенсивно происходит при использовании глинистых пород с повышенным содержанием каолинита.

Влияние содержания добавок на спекание глинистых пород исследовали на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 25 мм, изготовленных полусухим прессованием при давлении 25 МПа. Экспериментально установлено, что исследованные добавки в оптимальных количествах, больших для одних

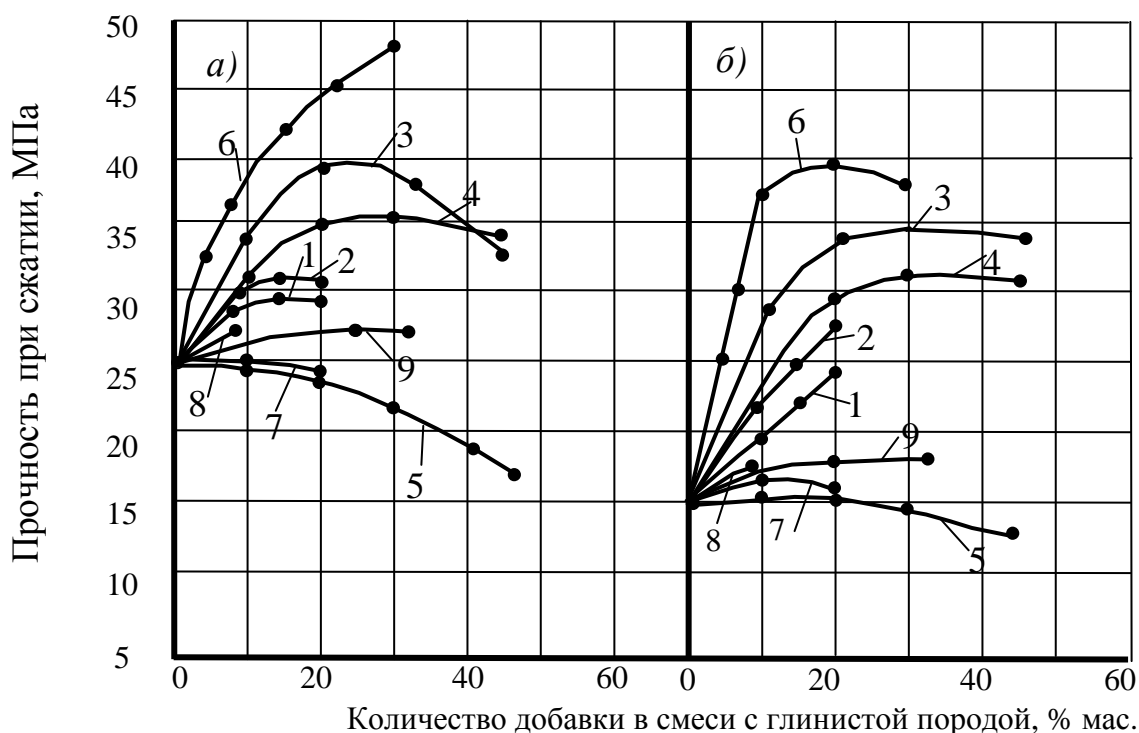


Рис. 2. Влияние количества добавок на прочность образцов из глины изыхской (а) и смеси аргиллитов желтой (50 %) и черной (50 %) разностей (б) при температуре обжига 1100 °С (добавка: 1 – диопсидсодержащая порода; 2 – волластонит; 3 – кварц-полевошпатовый сорский песок; 4 – высококальциевый шлак; 5 – высококальциевая зола; 6 – стеклобой; 7 – гипс строительный Г-6; 8 – жидкое стекло; 9 – 2Н раствор NaOH )

компонентов и меньших для других, улучшают спекание глины изыхской и аргиллитов (рис.2а, 2б). Причем оптимум положительного действия добавок

стеклобоя, жидкого стекла и гидроксида натрия на спекание более легкоплавких аргиллитов на 5–10 % ниже, а добавок остальных исследованных компонентов, напротив, на 5–10 % выше оптимума положительного действия этих же добавок на спекание более тугоплавкой глины изыхской.

Анализ результатов спекания образцов из композиций глинистых пород с добавками, данных их ДСК-анализа и результатов рентгенофазового анализа обожженных образцов показывает, что активное спекание глинистых пород с добавками стеклобоя обусловлено интенсификацией образования жидкой фазы при его плавлении. Улучшение спекания глинистых пород с добавками жидкого стекла и гидроксида натрия обусловлено усилением образования жидкой фазы, которое связано с плавлением в первичном расплаве, образуемом самими глинистыми породами, легкоплавкого нефелина, образующегося при обжиге этих композиций. На это указывает снижение относительных интенсивностей отражений нефелина  $(2,8783; 2,5557) \cdot 10^{-10}$  м на рентгенограммах образцов из композиций глин с добавками жидкого стекла и гидроксида натрия. Менее интенсивное спекание глинистых пород с добавками гидроксида натрия и жидкого стекла, чем с добавками стеклобоя при одинаковом их содержании, связано с тем, что плавление нефелина в композициях глин с этими добавками происходит после его образования, протекающего при температуре 860 °С (эндоэффект на кривых ДТА) более высокой, чем температура (600–750 °С) плавления стеклобоя.

Добавки диопсидсодержащей и волластонитовой пород, содержащих кальцит в качестве примесной фазы, в количестве до 10–20 %, в зависимости от вида глинистых пород, улучшают их спекание за счет интенсификации образования жидкой фазы при формировании легкоплавких эвтектик, подтверждаемое появлением эндоэффектов на кривых ДТА композиций глинистых пород с добавкой диопсидсодержащей (686 °С) или волластонитовой (790 и 894,7 °С) пород не сопровождающихся потерями массы. Добавки кварц-полевошпатового сорского песка в количестве до 20–30 %, в зависимости от вида глинистых пород, улучшают их спекание за счет усиления образования жидкой фазы при растворении в первичном расплаве, образующемся за счет глинистых пород, легкоплавких минералов альбита, ортоклаза и гематита кварц-полевошпатового сорского песка. Об этом свидетельствует появление эндоэффекта при температуре 880 °С на кривой ДТА и снижение относительных интенсивностей линий альбита  $(4,0192; 2,8799) \cdot 10^{-10}$  м, ортоклаза  $(2,9784; 3,1875) \cdot 10^{-10}$  м, гематита  $(2,6929) \cdot 10^{-10}$  м на рентгенограммах образцов из композиций глинистых пород с его добавкой. Добавки высококальциевого шлака в количестве до 20–30 %, высококальциевой золы в количестве до 10–15 % и гипса в количестве до 5–7 % в зависимости от вида глинистых пород, улучшают их спекание за счет интенсификации образования расплава и снижения его вязкости при растворении в первичном расплаве оксида кальция, в том числе свободного. Подтверждением этому служит наличие эндоэффектов при температуре 884–885° С на кривых ДТА и отсутствие отражений оксида кальция на

рентгенограммах обожженных образцов из композиций глинистых пород с добавками высококальциевых шлака и золы и гипса. Возможность ограниченного количества минералов и оксида кальция добавки растворяться в первичном расплаве обуславливает наличие оптимума положительного действия добавок на спекание глинистых пород.

Пониженная активность монтмориллонит-каолинитовой изыхской глины к образованию первичного расплава при обжиге, установленная данными ДСК-анализа, обуславливает сдвиг оптимума на 5–10 % положительного действия тех же самых добавок на ее спекание по сравнению с гидрослюдисто-каолинит-монтмориллонитовыми аргиллитами.

Результатами ДСК – анализа по экзоэффекту в области температур 900–960 °С установлено, что натрийсодержащие добавки на 20–27 °С (табл. 4), добавки диопсидсодержащей и волластонитовой пород на 3–9 °С, кварц-полевошпатового сорского песка и высококальциевых шлака и золы на 10–15 °С снижают температуру кристаллизации фаз из аморфизированных продуктов разложения глинистых пород и являются плавнеобразующими (стеклобой, жидкое стекло, гидроксид натрия), структурообразующими (волластонитовая и диопсидсодержащая породы, гипс), структурообразующими с проявлением плавнеобразующего эффекта (кварц-полевошпатовый сорский песок, высококальциевая зола и шлак).

Таблица 4

Температура кристаллизации фаз в композициях глинистых пород с добавками

| Содержание добавки, % мас.         | Экзоэффект, °С | Названия новых фаз по данным РФА  |
|------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Эталон-глинистый компонент (100 %) | *960/945       | анортит, муллитоподобная фаза     |
| Диопсидсодержащая порода (10 %)    | 936,8          | анортит                           |
| Волластонитовая порода (5 %)       | 942,1          | анортит                           |
| Высококальциевая зола (15–45 %)    | 950/930        | муллитоподобная фаза, волластонит |
| Высококальциевый шлак (30–45 %)    | 930            | волластонит                       |
| Гипс Г-10 (5 %)                    | *960/945       | муллитоподобная фаза, анортит     |
| Кварц-полевошпатовый песок (15 %)  | 930            | анортит                           |
| Стеклобой (10 %)                   | 918            | муллитоподобная фаза, нефелин     |
| Жидкое стекло (8 %)                | *942,5/937,5   | муллитоподобная фаза, нефелин     |
| 2Н раствор NaOH (33 %)             | *940/920       | муллитоподобная фаза, нефелин     |

<sup>x</sup> – глинистая порода – глина изыхская, в остальных композициях – смесь аргиллитов

Формирование муллитоподобной фазы, анортита и волластонита в зависимости от вида добавки (табл. 4), упрочняющих керамику, обеспечивает достижение высокой прочности композиций из смеси глинистых пород с добавками в оптимальных количествах и замедленное снижение прочности в количествах выше оптимальных. Повышенное содержание каолинита в глине изыхской по сравнению с аргиллитами, способствующее более интенсивному образованию муллитоподобной фазы, обеспечивает более высокую прочность композиций из ее смеси с добавками (рис. 2 а).

По результатам влияния исследованных добавок на свойства глиносодержащих композиций на низко- и высокотемпературной стадиях их получения составлена таблица (табл. 5), позволяющая целенаправленно

выбирать компоненты при проектировании составов композиций для теплоизоляционной керамики, обеспечивающих получение пористой структуры достаточной прочности на стадии низкотемпературного вспенивания и достижение необходимой прочности без деформации изделий на высокотемпературной стадии обжига.

**В четвертой главе** приведены результаты проектирования составов композиций и исследования свойств, фазового состава и структуры теплоизоляционной керамики.

При проектировании составов композиций сочетание компонентов и содержание каждого отдельного компонента в общей их совокупности определяли исходя из обеспечения их вспенивания, достижения стабилизации пористой структуры вспененных композиций и обеспечения спекания и формирования прочной межпоровой матрицы пористой керамики.

Таблица 5

Результаты влияния добавок на свойства глиносодержащих композиций на низко- и высокотемпературных стадиях их получения

| Компонент и его содержание, % мас. в композиции с глинами | Низкотемпературная стадия                   |       |   |         | Высокотемпературная стадия  |         |
|---|---|-------|---|---------|---|---------|
|   | Вязкость водоглино-содержащей композиции, с |       | Глубина погружения конуса в лепешки из композиции через 4 ч твердения, мм |         | $R_{сж}$ образцов из композиций после обжига при $t=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , МПа |         |
|   | 1   | 2     | 1   | 2       |   |         |
| Эталон – глинистый компонент (100%)                       | 7   | 11    | 10  | 10      | 25  | 15      |
| Воллстонитовая порода (10–20%)                            | 6,5–6,3                                     | 8–6   | 8,8–8,2   | 9–8,5   | 30–32   | 23–27,5 |
| Диоксидосодержащая порода (10–20%)                        | 3,8–2                                       | 6–4   | 9,2–8,6   | 9,3–8,8 | 28–30   | 20–24   |
| Кварц-полевошпатовый песок (15–45%)                       | 4–1,8                                       | 6–2   | 9–7   | 9,2–8,2 | 37–40   | 32–34   |
| Высококальциевый шлак (15–45%)                            | 9–11  | 13–15 | 8,0–6   | 8,3–6,2 | 33–35   | 27–32   |
| Высококальциевая зола (15–45%)                            | 14–18                                       | 15–23 | 6,0–2,8   | 7,3–4   | 23–18   | 16–13   |
| Стеклобой (10–20%)  | 3–1   | 5,8–3 | 9,8–9,5   | 9,9–9,7 | 40–45   | 37–39,5 |
| Гипс Г-6 (2–5%)   | 10–12                                       | 15–19 | 8,5–7   | 8,7–7,8 | 25–26   | 16–17   |
| Жидкое стекло (5–7%)                                      | 9–10,5                                      | 13–15 | 8,8–8   | 9–8,8   | 27–29   | 17–17,5 |
| 2Н раствор NaOH (30%)                                     | 8,2   | 12    | 8,5   | 9       | 28  | 18      |

Глинистая порода: 1 – глина изыхская, 2 – смесь аргиллитов

Для обеспечения вспенивания композиций и стабилизации их пористой структуры после него в композициях одних составов применяли высококальциевую золу (золосодержащие композиции), повышающую в значительной степени вязкость композиций (табл. 5). В составы других композиций, при вспенивании которых использовали гидроксид натрия (щелочесодержащие композиции), для стабилизации пористой структуры после вспенивания вводили добавки жидкого стекла или гипса, способствующие повышению вязкости композиций (табл. 5).

Для обеспечения спекания пористой керамики проводили выбор наиболее

легкоплавких химических составов композиций с использованием тройной диаграммы состояния  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  в связи с тем, что в исходных сырьевых материалах оксиды кремния, кальция и магния являются доминирующими (табл. 1). В соответствии с правилом Рихтера путем пересчета оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов на  $\text{CaO}$ , а оксида железа на  $\text{Al}_2\text{O}_3$  многокомпонентные составы композиций приводили к трехкомпонентным. При оценке возможности спекания керамики, кроме области нахождения составов композиций на тройной диаграмме, учитывали отношение суммы оксидов кальция и магния ( $\text{RO}$ ) в процентах к сумме оксидов натрия и калия ( $\text{R}_2\text{O}$ ), определяющее влияние легкоплавких оксидов калия и натрия, вводимых с сырьевыми компонентами или с гидроксидом натрия и жидким стеклом, на спекание и фазообразование керамики. В результате спроектировали 10 композиций, точки приведенного химического состава которых на диаграмме состояния находятся в поле кристаллизации анортита, волластонита и кварца (эвтектика – 1165 °С) при отношении  $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$  от 0,64 до 8,04 и 4 композиции – в поле кристаллизации анортита, муллита и кварца (эвтектика – 1345 °С) при отношении  $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$  от 0,8 до 1,75.

При этом золосодержащие композиции, кроме высококальциевой золы и глинистого компонента, включали кварц-полевошпатовый сорский песок или высококальциевый шлак и стеклобой. Щелочесодержащие композиции готовились на основе глинистых пород при наличии и отсутствии в них плавня (стеклобоя) и структурообразующего компонента, в качестве которого выбрана диопсидсодержащая порода.

При изготовлении пористой керамики из разработанных композиций алюминиевую пудру в количестве 0,6 %, установленном экспериментально как оптимальное, смешивали сначала с непластичными компонентами композиций, затем с водой, в которую, если требовалось, вводили 2Н раствор гидроксида натрия. После перемешивания начинающую вспениваться массу вливали в разъемные металлические формочки размером 70,7×70,7×70,7 мм. Основная продолжительность газообразования составляла 7–10 мин, общая – 17–20 мин. Распалубку образцов проводили через сутки. После предварительной сушки в течение 5–7 ч образцы обжигали при температурах 900–1150 °С в течение 5 ч с выдержкой 0,5 ч при конечной температуре. Составы масс и свойства керамики из них приведены в табл. 6,7.

Оптимальная температура обжига керамики, при которой достигается наименьшая плотность при максимальной прочности и минимальной усадке, тем ниже, чем меньше отношение  $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$  в составе (940–950 °С при отношении 0,64–1,52, 1000–1100 °С при отношении 1,65–5,54 и 1120 °С при отношении 8,04–8,17). При сравнимой плотности 600 кг/м<sup>3</sup> прочность керамики из композиций одних составов больше прочности керамики из композиций других составов, что связано с образованием количества упрочняющих фаз при ее обжиге, оцениваемое относительной интенсивностью соответствующих линий на рентгенограммах.



Таблица 6

Состав и свойства керамики из золосодержащих и щелочесодержащих композиций с добавкой жидкого стекла

| Компонент                                | Состав композиции |      |      |      |      |      |      |      |
|--|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | 1                 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| Содержание, % мас., компонента в составе |                   |      |      |      |      |      |      |      |
| Глина изыхская                           | 20                | 20   | 20   |      | 100  | 70   |      |      |
| Аргиллиты черногорские                   |                   |      |      | 20   |      |      | 100  | 80   |
| Диопсидосодержащая порода                |                   |      |      |      |      | 10   |      | 10   |
| Кварц-полевошпатовый сорский песок       | 45                |      |      |      |      |      |      |      |
| Высококальциевый шлак                    |                   | 30   | 15   | 30   |      |      |      |      |
| Высококальциевая зола                    | 15                | 30   | 45   | 30   |      |      |      |      |
| Стеклобой                                | 20                | 20   | 20   | 20   |      | 20   |      | 10   |
| Гидроксид натрия, 2Н                     |                   |      |      |      | 30   | 30   | 30   | 30   |
| Жидкое стекло                            |                   |      |      |      | 5,0  | 5,0  | 5,0  | 5,0  |
| Алюминиевая пудра                        | 0,6               | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  |
| В/Т                                      | 0,55              | 0,55 | 0,6  | 0,62 | 0,5  | 0,45 | 0,5  | 0,45 |
| Показатель свойства                      |                   |      |      |      |      |      |      |      |
| Отношение RO/ R <sub>2</sub> O в составе | 1,71              | 8,17 | 8,04 | 5,54 | 1,75 | 1,65 | 0,64 | 1,07 |
| T <sub>эвт.</sub> области состава, °С    | 1165              | 1165 | 1165 | 1165 | 1345 | 1165 | 1165 | 1165 |
| Температура обжига, °С                   | 1100              | 1120 | 1120 | 1100 | 1050 | 1000 | 940  | 950  |
| Усадка, %                                | 7,2               | 8,1  | 7,3  | 4,3  | 2,2  | 1,6  | 3,4  | 1,1  |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>             | 530               | 430  | 410  | 520  | 640  | 510  | 750  | 526  |
| Прочность при сжатии, МПа                | 3,1               | 3,1  | 2,4  | 2,9  | 5,0  | 6,3  | 5,2  | 6,0  |

Таблица 7

Состав и свойства керамики из щелочесодержащих композиций с добавкой гипса

| Компонент                                | Состав композиции |      |      |      |      |      |
|--|-------------------|------|------|------|------|------|
|  | 9                 | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| Содержание, % мас., компонента в составе |                   |      |      |      |      |      |
| Глина изыхская                           |                   |      |      | 70   |      |      |
| Аргиллиты черногорские                   | 100               | 100  | 80   |      | 90   | 100  |
| Диопсидосодержащая порода                |                   |      | 10   | 10   | 10   |      |
| Стеклобой                                |                   |      | 10   | 20   |      |      |
| Гипс Г-6 (тонкость < 0,2 мм)             | 2                 |      | 5    | 2    | 2    |      |
| Гипс Г-16 (тонкость < 0,2 мм)            |                   | 2    |      |      |      |      |
| Гипс Г-6 (тонкость < 0,16 мм)            |                   |      |      |      |      | 0,8  |
| Гидроксид натрия, 2Н                     | 30                | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   |
| Алюминиевая пудра                        | 0,6               | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  |
| В/Т                                      | 0,52              | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 |
| Показатель свойства                      |                   |      |      |      |      |      |
| Отношение RO/ R <sub>2</sub> O в составе | 0,87              | 0,87 | 1,52 | 2,15 | 1,49 | 0,8  |
| T <sub>эвт.</sub> области состава, °С    | 1345              | 1345 | 1165 | 1165 | 1165 | 1345 |
| Температура обжига, °С                   | 950               | 950  | 950  | 1000 | 950  | 950  |
| Усадка, %                                | 1,2               | 1,1  | 1,7  | 1,4  | 1,2  | 1,4  |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>             | 590               | 570  | 600  | 520  | 580  | 580  |
| Прочность при сжатии, МПа                | 1,8               | 2,7  | 3,5  | 4,9  | 2,9  | 2,6  |

Рентгенофазовым анализом обнаружено, что в образцах пористой керамики из композиций на основе глинистых пород с максимальным их содержанием (составы 5, 7, прочность 5,0–5,2 МПа) образуется муллитово-

подобная фаза ( $d = 2,68 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ,  $J_{\text{отн}} = 1,5$ ). В образцах пористой керамики из композиций, включающих диопсидсодержащую породу (составы 6,8,11–13, прочность 2,9–6,3 МПа), более интенсивно ( $d = 3,18 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ,  $J_{\text{отн}} = 3–4$ ), включающих кварц-полевошпатовый сорский песок (состав 1, прочность 2,1 МПа) менее интенсивно ( $d = 3,18 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ,  $J_{\text{отн}} = 2,5$ ) образуется анортит. В образцах керамики из композиций, включающих высококальциевый шлак (составы 2–4), образуется волластонит ( $d = 2,94 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ,  $J_{\text{отн}} = 2,5$ ).



Увеличение 30<sup>x</sup>

500 мкм

Рис. 3. Микрофотография структуры пористой строительной керамики состава 1

После обжига при оптимальных для каждого состава температурах получена пористая керамика с мелкими изолированными порами и низким коэффициентом теплопроводности (рис. 3). Коэффициент теплопроводности материалов, определенный экспериментально с помощью электронного измерителя ИТП – МГ4, составляет 0,16–0,26 Вт/м·°С. Прочность керамики при сжатии составляет 1,8–6,3 МПа, плотность 410–750 кг/м<sup>3</sup>. В соответствии с требованиями ГОСТ 25485 – 89 автоклавные пенобетоны с прочностью при сжатии от 1,24 до 4,49

МПа при плотности 500–600 кг/м<sup>3</sup>, которые широко применяются в строительстве, относятся к группе конструкционно-теплоизоляционных. Поэтому разработанные материалы могут быть пригодны в качестве элементов жесткой теплоизоляции зданий и сооружений.

**В пятой главе** представлена технологическая схема изготовления блочных теплоизоляционных материалов, приведены результаты их опытно-промышленных испытаний, дана оценка технико-экономической эффективности их получения и применения.

Для опытно-промышленных испытаний были выбраны композиции двух составов с высококальциевой золой и гипсом строительным в качестве стабилизаторов структуры вспененных масс (составы 4 и 11, табл. 6,7).

Изготовление изделий проводили в цехе строительных материалов некоммерческой организации «Муниципальный жилищный фонд г. Абакана» (Хакасия) в соответствии с технологическим регламентом, разработанным с участием автора. Применяемые для изготовления изделий арсиллиты являются базовым сырьем для получения кирпича на этом заводе.

Получены блочные теплоизоляционные керамические материалы с плотностью 520 и 610 кг/м<sup>3</sup> при прочности 2,9 и 3,6 МПа. Соответствие свойств изделий двух партий каждого состава и их согласованность с результатами лабораторных исследований (табл. 6, 7) свидетельствуют о стабильности разработанной технологии получения блочных материалов.

Расчеты показывают, что для изготовления разработанных материалов в виде блоков размером 250×120×65 мм требуется в 1,5 раза меньший расход

глинистого сырья на единицу продукции. Разработанные материалы с плотностью 520–610 кг/м<sup>3</sup> в виде блоков в 2,42–4,05 раз повышают сопротивление теплопередаче при снижении массы 1 м<sup>2</sup> стены принятой толщины в 2,3–2,92 раза.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. По характеру взаимодействия с глинистыми минералами при температуре 20–30 °С выделены две группы добавок: активные к химическому взаимодействию и пассивные к нему. Добавка высококальциевой золы, содержащая 8–9 % свободного оксида кальция, в количестве 15–45 %, обеспечивает формирование пористой достаточно прочной структуры композиций после вспенивания вяжущими свойствами гидросиликатов кальция, образующихся при её химическом взаимодействии с глинистыми минералами при температуре 20–30 °С.

2. При температуре 20–30 °С в глиносодержащих композициях с использованием в их составе для вспенивания алюминиевой пудры и 2Н раствора гидроксида натрия в количестве 30 % за счет его химического взаимодействия с глинистыми минералами образуется гидроалюмосиликат натрия, обладающий вяжущими свойствами в момент формирования и переходящий в кристаллогидрат с течением времени, что обеспечивает прочность композиций при их вспенивании.

3. Добавки жидкого стекла в количестве 5 % или гипса строительного в количестве от 0,2 до 5 % в зависимости от его тонкости помола и марки, в смеси с гидроксидом натрия повышают прочность композиций после вспенивания. Повышение прочности вспененных композиций при использовании добавки жидкого стекла достигается совокупностью вяжущих свойств самой добавки и гидросиликатов кальция, образующихся при её химическом взаимодействии с глинистыми минералами. Повышение прочности пористой структуры после вспенивания при введении добавки гипса, тем более высокой, чем выше его марка, обеспечивается вяжущими свойствами гипса.

4. Изменение вязкости и упрочнения водоглиносодержащих композиций обеспечивается применением добавок, инертных при температуре 20–30 °С к химическому взаимодействию с глинистыми минералами, но выделяющих при гидролизе катионы разной валентности. Добавки, выделяющие при гидролизе преимущественно катионы Са, увеличивают вязкость и ускоряют упрочнение водоглиносодержащих композиций. Добавки, выделяющие преимущественно катионы Na, катионы нескольких видов (Na, K, Са или Са, Mg) и незначительное количество в основном за счет небольшого содержания кальцита катионов Са, снижают вязкость при ускорении упрочнения водоглиносодержащих композиций тем сильнее, чем выше вероятность образования катиона Na в его моновиде.

5. Эффективность повышения прочности вспененных композиций на основе аргиллитов гидрослюдисто-каолинит-монтмориллонитового состава выше, чем на основе глины изыхской монтмориллонит-каолинитового состава. Эффективность повышения прочности после обжига, наоборот, выше для

керамики из композиций на основе монтмориллонит-каолининовой глины.

6. Композиции, приведенный химический состав которых на диаграмме состояния  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  находится в поле кристаллизации волластонита, анортита и кварца (эвтектика – 1165 °С) при отношении  $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$  от 0,64 до 8,04, обеспечивают получение материалов с плотностью 410–750 кг/м<sup>3</sup> при прочности 2,1–6,3 МПа после обжига в течение 5 ч с выдержкой 0,5 ч при температуре 940–1120 °С. Композиции, приведенный химический состав которых находится в поле кристаллизации анортита, муллита и кварца (эвтектика – 1345 °С) при отношении  $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$  0,8–1,75, обеспечивают получение материалов с плотностью 580–590 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии 1,8–5,0 МПа после обжига при температуре 950–1050 °С.

7. Увеличение прочности керамики из композиций, содержащих стеклобой, гидроксид натрия, жидкое стекло, обеспечивается за счет ускорения образования муллитоподобной фазы, включающих добавку кварц-полевошпатового сорского песка и диопсидсодержащей породы, обеспечивается за счет активного формирования анортита, включающих добавки высококальциевых шлака и золы – за счет формирования волластонита. При использовании добавки высококальциевой золы в образовании волластонита активное участие принимает свободный оксид кальция золы. Повышенное содержание каолинита в глине изыхской по сравнению с аргиллитами, обеспечивающего более интенсивное образование муллитоподобной фазы, обуславливает более высокую прочность керамики из композиций на ее основе.

8. Опытнo-промышленное апробирование показало, что керамические теплоизоляционные строительные материалы можно получить по энергоэффективной технологии низкотемпературного вспенивания путем подготовки шликера из смеси глины изыхской или смеси аргиллитов и непластичных компонентов на подогретой до 50–60 °С воде с последующим его смешиванием с алюминиевой суспензией. При использовании 2Н раствора гидроксида натрия в композициях вводится технологическая операция по его подготовке.

9. Разработанные теплоизоляционные материалы обеспечивают повышение в 2,42–4,05 раза сопротивления теплопередаче стены принятой толщины при снижении её массы в 2,3–2,92 раза.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Теплоизоляционная керамика на основе малоэнергоемкого процесса вспенивания масс / Ю. В. Селиванов, А. Д. Шильцина, **Е. В. Логинова**, В. М. Селиванов // Изв. вузов. Строительство. – 2011. – № 3. – С. 12–19.

2. Селиванов, Ю. В. Теплоизоляционные керамические материалы с использованием вяжущих / Ю. В. Селиванов, А. Д. Шильцина, **Е. В. Логинова** // Строительные материалы. – 2010. – №7. – С. 49–51.

3. Применение пористых заполнителей в конструкциях теплоизоляции перекрытия / Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов, **Е. В. Логинова**, А. Д. Шильцина, Д. Г. Портнягин // Строительные материалы. – 2010. – № 2. – С. 25–26.

4. Свойства и применение теплоизоляционных керамических материалов из масс с техногенным силикатным сырьем / Ю. В. Селиванов, А. Д. Шильцина, В. М. Селиванов, **Е. В. Логинова** // Промышленные и бытовые отходы: проблемы хранения, захоронения, утилизации, контроля : сб. ст. X международ. науч.-практ. конф. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2006. – С. 65–67.
5. Регулирование свойств керамических масс и строительных изделий на их основе / Н. Н. Королькова, Ю. В. Селиванов, А. Д. Шильцина, **Е. В. Логинова** // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала КГТУ. – Абакан : ХТИ – филиал КГТУ, 2006. – № 21. – С. 149 – 157.
6. Свойства теплоизоляционных керамических материалов с техногенным силикатным сырьем Хакасии / Т. В. Иванова, В. В. Максимчук, Ю. В. Селиванов, А. Д. Шильцина, **Е. В. Логинова** // Экология южной Сибири и сопредельных территорий : материалы XI международ. науч. школы-конф. студентов и молодых ученых. – Абакан : ХГУ им. Н. Ф. Катанова, 2007. – Вып. 11. – Т. 2 – С. 59.
7. Селиванов, Ю. В. Влияние дисперсности и вида гипсовой добавки на изменение прочности поризованных масс низкотемпературного вспенивания / Ю. В. Селиванов, **Е. В. Логинова**, В. В. Максимчук // Интеллектуальные ресурсы ХТИ – филиала СФУ : докл. и тез. докл. 6-й регион. науч.-практ. конф. – Красноярск : СФУ, 2007. – С. 118–119.
8. Королькова, Н. Н. Применение грубозернистого сырья в технологии изготовления строительной керамики пластическим формованием / Н. Н. Королькова, А. Д. Шильцина, **Е. В. Логинова** // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2007. – № 23. – С. 136–141.
9. Селиванов, Ю. В. Свойства поризованных масс низкотемпературного вспенивания в зависимости от дисперсности компонентов / Ю. В. Селиванов, **Е. В. Логинова**, А. Д. Шильцина // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2007. – № 24. – С. 184– 87.
10. Оценка золошлаковых отходов ТЭЦ Хакасии как сырья для строительных материалов / А. Д. Шильцина, Ю. В. Селиванов, Т. В. Иванова, **Е. В. Логинова** // Экология южной Сибири и сопредельных территорий : материалы XII международ. науч. школы-конф. студентов и молодых ученых. – Абакан : ХГУ им. Н. Ф. Катанова, 2008. – Вып.12. – Т. 2 – С. 33.
11. Селиванов, Ю. В. Повышение устойчивости и структурной прочности вспененных масс и пористой керамики / Ю. В. Селиванов, **Е. В. Логинова**, А. Д. Шильцина // Всерос. конф. «Современные проблемы производства и использования композиционных строительных материалов» : сб. науч. ст. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2009. – С. 128 – 131.
12. Технология изготовления блочных теплоизоляционных керамических материалов из масс с техногенным силикатным сырьем / Ю. В. Селиванов, **Е. В. Логинова**, В. И. Козлов, Н. Н. Королькова // Экология южной Сибири и сопредельных территорий : материалы XIII международ. науч. школы-конф. студентов и молодых ученых. – Абакан : ХГУ им. Н. Ф. Катанова, 2009. – Вып. 13. – Т. 2 – С. 39–40.
13. **Логинова, Е. В.** Получение блочных теплоизоляционных керамических материалов путем низкотемпературного вспенивания масс / **Е. В. Логинова**, Ю. В. Селиванов, А. Д. Шильцина // Инновационные методы в архитектуре и градостроительстве : материалы международ. науч.-техн. конф. – Саратов : Наука, 2009. – С. 69–72.
14. Селиванов, Ю. В. Влияние добавок волластонита на технологические и керамические свойства глинистых пород / Ю. В. Селиванов, **Е. В. Логинова**, В. В. Ланчинская // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2009. – № 27. – С. 145–148.
15. Селиванов, Ю. В. Влияние добавок гипса и жидкого стекла на устойчивость вспененных масс и прочность пористой керамики / Ю. В. Селиванов, **Е. В. Логинова**, А. Д.

Шильцина // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2009. – № 27. – С. 149–154.

16. Селиванов, Ю. В. Оценка составов масс на основе техногенного силикатного сырья для получения пористой керамики / Ю. В. Селиванов, **Е. В. Логинова**, А. Д. Шильцина // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2009. – № 28. – С. 121–128.

17. **Логинова, Е. В.** Исследование вязких свойств и упрочнения водоглиносодержащих композиций / **Е. В. Логинова**, Ю. В. Селиванов, А. Д. Шильцина // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2010. – № 30. – С. 72–78.

18. Влияние состава глинистого сырья на его свойства / А. Д. Шильцина, **Е. В. Логинова**, Н. Н. Королькова, О. В. Блажнова, Е. В. Шкробко // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан: ХТИ – филиал СФУ, 2010.– № 30. – С. 120–124.

19. Теплоизоляционные керамические материалы из глинистых пород с натрийсодержащими компонентами / А. Д. Шильцина, Ю. В. Селиванов, **Е. В. Логинова**, О. В. Блажнова // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2011. – № 31. – С. 124–127.

20. **Логинова Е. В.** Оценка свойств диопсидовой породы для применения в составах керамических масс / **Е. В. Логинова** // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2010. – № 29. – С. 183–185.

21. Шильцина, А. Д. Оценка возможности получения из сырья Хакасии блочных теплоизоляционных керамических материалов / А. Д. Шильцина, Ю. В. Селиванов, **Е. В. Логинова** // Инновационное развитие, модернизация и реконструкция объектов ЖКХ в современных условиях : материалы межрегион. науч.-техн. конф. – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2010. – С. 126–129.

**Логинова Елена Владимировна**

**КЕРАМИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВСПЕНИВАНИЯ  
НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИЙ ГЛИНИСТОГО  
И НЕПЛАСТИЧНОГО СЫРЬЯ**

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

Подписано в печать «\_\_» января 2012 г

Формат 60×84/16. Уч.-изд. л. \_\_\_\_

Тираж 120 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

полиграфический центр Библиотечно-издательского комплекса  
Сибирского федерального университета  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82 а