

Портнягин Денис Геннадьевич

**ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
ИЗ КОМПОЗИЦИЙ СТЕКЛОБОЯ И ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ
ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ**

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
Селиванов Виталий Мартемьянович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
Верещагин Владимир Иванович

кандидат технических наук,
доцент
Копаница Наталья Олеговна

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

Защита состоится «24» февраля 2012 г. в 10.00 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. Сочетание высоких теплозащитных свойств, пожаробезопасности и долговечности дает основание считать пеностекло и пеностеклокристаллические материалы наиболее перспективными компонентами теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений. Накоплен значительный научный и практический опыт их получения и применения. Однако остаются актуальными вопросы обеспечения изготовления таких материалов сырьем в виде вторичного стеклобоя.

Обеспечить сырьем производство подобных пеностеклу материалов можно путем полной или частичной замены стеклобоя и введением добавок. К настоящему времени известны виды альтернативного сырья, способные полностью или частично заменить стеклобой и гарантировать свойства пеностекла после обжига при температуре 800 – 850 °С, среди которых выделяют породы преимущественно аморфного строения с наличием небольшого количества кристаллофазы. Это такие сырьевые материалы, как диатомит, опока, перлит и кислые золошлаковые отходы ТЭЦ.

Имеются данные по получению пеностеклокристаллических материалов с использованием малопригодных для утилизации высококальциевых золошлаковых отходов ТЭЦ, работающих на бурых углях Канско-Ачинского бассейна. Однако получение легких и прочных заполнителей достигается при использовании их в тонкомолотом виде с размером частиц менее 0,063 мм и после обжига при температуре 1120 °С, достаточно высокой относительно температуры обжига пеностекла, соответствующей 800 – 850 °С, что требует больших энергетических затрат. Поэтому вопросы поиска сырьевых материалов и снижения энергетических затрат на стадиях подготовки сырья и обжига при получении пеностеклокристаллических материалов являются актуальными.

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.); «Теплоизоляционные и стеновые керамические материалы на основе глин с техногенным силикатным сырьем» (2008–2009 гг.); конкурса гранта «Молодой исследователь» ведомственной целевой программы «Поддержка инновационной, научной и научно-внедренческой деятельности высших учебных заведений и научных организаций Республики Хакасия на 2010 год». Разработанные материалы экспонировались на международной строительной выставке «ХакСтройЭкспо 2011. Инновации. Строительство. Энергетика. ЖКХ» в составе ООО «Экспертиза недвижимости» и удостоены дипломом выставки.

Цель работы – разработка составов и исследование свойств пеностеклокристаллических материалов на основе композиций стеклобоя и высококальциевых золошлаковых отходов, получаемых по энергоэффективной технологии низкотемпературного обжига.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- исследование состава и свойств высококальциевых золошлаковых отходов и оценка их пригодности для получения пеностеклокристаллических материалов;
- исследование влияния количества и свойств высококальциевых золошлаковых отходов на вспенивание и формирование структуры пеностеклокристаллических материалов;
- исследование физико-химических процессов получения пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя с добавками высококальциевых золошлаковых отходов;
- разработка составов и исследование свойств пеностеклокристаллических материалов, получаемых по энергоэффективной технологии;
- проведение опытно-промышленных испытаний разработанных пеностеклокристаллических материалов;
- оценка технико-экономической эффективности применения разработанных пеностеклокристаллических материалов.

Научная новизна

1. Установлено, что тонкость помола высококальциевого шлака, сложенного стеклофазой (80 – 90 %) и кристаллофазой из анортита, волластонита и диопсида, и высококальциевой золы из золошлакоотвала, содержащей гидраты и карбонаты кальция, до размера частиц менее 0,16 мм является достаточной для введения их в композиции с тонкомолотым стеклобоем с размером частиц менее 0,063 мм при получении пеностеклокристаллических материалов с насыпной плотностью 180 – 190 кг/м³.

2. Показано, что эффективное вспенивание композиций с коэффициентом вспенивания 10,5 – 10,7 обеспечивается при содержании в их составе 30 % добавки высококальциевого шлака или 3 % добавки высококальциевой золы из золошлакоотвала, гранулированных с использованием 30 % жидкого стекла плотностью 1400 кг/м³, после обжига при температуре 800 °С с выдержкой 20 мин.

3. Установлено, что эффект вспенивания композиций из смеси стеклобоя (70 %) и высококальциевого шлака (30 %), гранулированной с применением жидкого стекла в количестве 30 % от сухой смеси, обеспечивается выделением паров воды при разложении жидкого стекла. Эффект вспенивания композиций из смеси стеклобоя (97 %) и высококальциевой золы (3 %), содержащей 0,25 – 0,33 % гидроксида кальция и вторичного кальцита и остаточное топливо, достигается сочетанием выделения паров воды, образующихся при разложении жидкого стекла и гидроксида кальция, и выделения CO₂ при выгорании остаточного топлива и разложении вторичного кальцита.

4. Установлено, что пеностеклокристаллические материалы из оптимальных композиций, включающих стеклобой (70 %) и высококальциевый шлак (30 %) или высококальциевую золу (3 %), сложены преимущественно аморфной фазой при небольшом содержании кристаллофазы из минералов волластонита и анортита, что обеспечивает прочность пеностеклокристаллических материалов.

Практическая ценность работы

1. Разработаны составы масс на основе композиций стеклобоя и высококальциевых золошлаковых отходов для получения гранулированных пеностеклокристаллических материалов с насыпной плотностью $180 - 190 \text{ кг/м}^3$, коэффициентом теплопроводности $0,042 - 0,057 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$, прочностью при сжатии в цилиндре $0,9 - 1,3 \text{ МПа}$ после обжига при температуре 800 °С .

2. Разработаны составы масс на основе композиций стеклобоя и высококальциевого шлака для изготовления блочных теплоизоляционных пеностеклокристаллических материалов со средней плотностью $320 - 330 \text{ кг/м}^3$, коэффициентом теплопроводности $0,077 - 0,091 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$, прочностью при сжатии $4,1 - 4,5 \text{ МПа}$ после обжига при температуре 800 °С .

3. Разработана энергоэффективная технология получения гранулированных и блочных пеностеклокристаллических материалов, позволяющая их изготовление с использованием грубодисперсных золошлаковых отходов с размером частиц менее $0,16 \text{ мм}$ против $0,063 \text{ мм}$ при температуре обжига 800 °С .

4. Предложена технология получения пустотелых гранул, обеспечивающая возможность замены стеклобоя в композиции более высоким содержанием высококальциевого шлака (40 против 30%) при получении пеностеклокристаллических материалов с насыпной плотностью $180 - 190 \text{ кг/м}^3$. На разработанную технологию подана заявка на получение патента.

Реализация результатов работы

На кирпичном заводе ООО «Базовые строительные материалы» (республика Хакасия) проведены опытно-промышленные испытания гранулированных пеностеклокристаллических материалов с насыпной плотностью $180 - 190 \text{ кг/м}^3$, прочностью при сжатии в цилиндре $0,9 - 1,3 \text{ МПа}$ и блочных пеностеклокристаллических материалов со средней плотностью $320 - 330 \text{ кг/м}^3$, прочностью при сжатии $4,1 - 4,5 \text{ МПа}$. На технологию получения гранулированных и блочных пеностеклокристаллических материалов составлен технологический регламент.

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе на кафедре «Строительство» Хакасского технического института – филиала ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» при изучении курсов «Материаловедение», «Новые материалы и технологии».

Автор защищает:

- экспериментально установленное влияние количества и свойств сырьевых компонентов и температуры обжига на вспенивание и формирование структуры пеностеклокристаллических материалов;
- установленные физико-химические процессы при обжиге сырьевых материалов и композиций из смеси стеклобоя, высококальциевых золошлаковых отходов и жидкого стекла;
- полученные результаты оценки комплексного влияния составов композиций и температуры обжига на свойства пеностеклокристаллических материалов;

- установленный механизм процесса вспенивания композиций из смеси стеклобоя, высококальциевых золошлаковых отходов и жидкого стекла;
- разработанную технологию получения пустотелых гранул;
- выявленные результаты технико-экономической эффективности производства и применения пеностеклокристаллических материалов.

Апробация работы. Результаты исследований представлены на научно-практических конференциях ХТИ – филиала СФУ (г. Абакан, 2006–2009 гг.); X международной научно-практической конференции «Промышленные и бытовые отходы: проблемы хранения, захоронения, утилизации, контроля» (г. Пенза, 2006 г.); XI международной научной школе-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (г. Абакан, 2007 г.); республиканских конкурсах научно-исследовательских работ студентов вузов по направлению «Технические науки» (г. Абакан, дипломы II степени в 2007, 2008 гг.); всероссийской конференции НГАСУ (г. Новосибирск, 2009 г.); международной научно-технической конференции «Инновационные методы в архитектуре и градостроительстве» (г. Саратов, 2009 г.); XIII международной научной школе-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (г. Абакан, диплом за 1 место в 2009 г.); международном научно-практическом симпозиуме «Социально-экономические проблемы жилищного строительства и пути их решения в период выхода из кризиса» (г. Саратов, 2010 г.).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 24 работы в сборниках тезисов и докладов, трудах и материалах всероссийских и международных конференций, в том числе 3 статьи в журналах по списку ВАК. Подана одна заявка на получение патента РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов, списка литературы из 204 наименований и приложений. Материал изложен на 162 стр., содержит 44 рисунка и 26 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, сформулирована цель, определены задачи для достижения данной цели, показаны научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе представлен обзор современного состояния развития производства пеностекла и пеностеклокристаллических материалов к настоящему времени, показаны преимущества их применения в современном строительстве, приведены сведения по видам сырья, составам масс, свойствам пеностекла и пеностеклокристаллических материалов, сделана оценка имеющихся направлений повышения экономичности пеностекольных материалов, технологических особенностей их получения, изложенных в работах И. И. Китайгородского, Б. К. Демидовича, Н. М. Павлушкина, В. И. Верещагина, В. А. Лотова, Л. К. Казанцевой, О. В. Казьминой, А. А. Кетова и др.

Показано, что производство пеностекла и пеностеклокристаллических материалов в России в масштабных объемах не развито и главным препятстви-

ем этому является дефицит сырья в виде вторичного стеклобоя для их получения. Показано, что одним из путей решения проблемы является замена части стеклобоя другими видами сырья. Обоснована целесообразность применения в композициях со стеклобоем высококальциевых золошлаковых отходов. На основании проведенного анализа данных научной и технической литературы сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе приводится характеристика применяемых материалов, обосновывается целесообразность их применения в составах композиций для пеностеклокристаллических материалов, излагаются методы исследования сырья и свойств материалов. Приводится и обосновывается структурно-методологическая схема работы. Химический состав применяемых видов сырья приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сырьевых компонентов

Наименование сырья	Содержание оксидов, % мас.							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
Стеклобой	67,40	5,81	1,76	7,21	3,38	12,73	2,00	–
Высококальциевый шлак	50,69	8,09	8,94	27,51	3,50	0,27	0,20	0,8
Высококальциевая зола	50,98	6,36	7,71	27,14	3,76	0,40	0,36	1,89

Стеклобой сложен аморфной фазой (рис. 1, а). На его кривой ДТА отмечается один эндозффект (91,3 °С), связанный с удалением гигроскопической воды (рис. 2, а). В целом характер кривой ДТА стеклобоя соответствует его плавлению, которое сопровождается снижением вязкости и соответственно увеличением способности к вспениванию при обжиге. Возможность вспенивания стеклобоя при обжиге подтверждается быстрым нарастанием количества расплава с температурой обжига, установленным по кривой его плавкости (рис. 3).

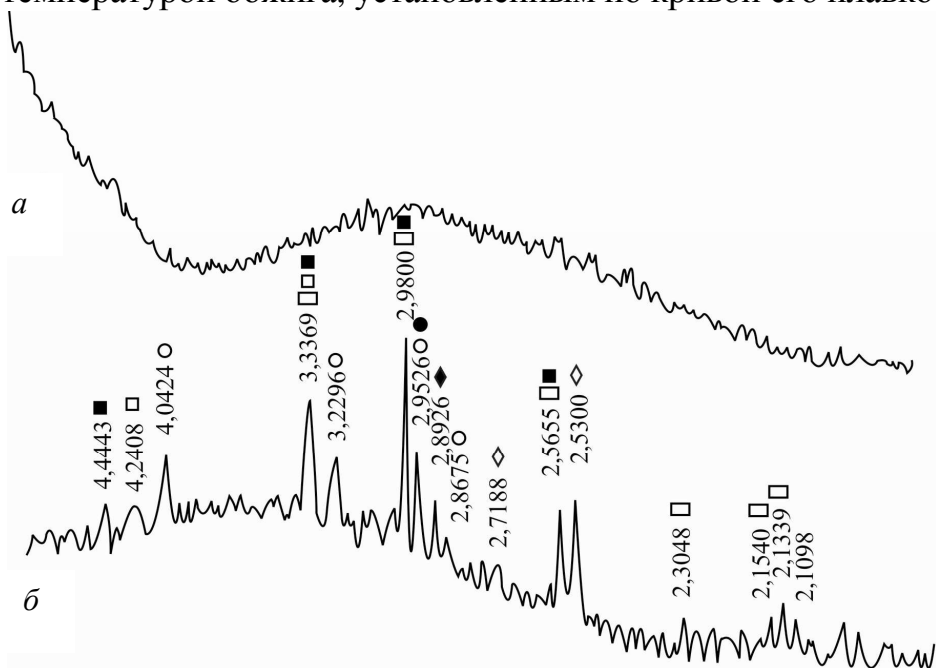


Рис. 1. Рентгенограммы стеклобоя (а) и высококальциевого шлака (б):

□ – кварц; ○ – анортит; ● – CaO·Al₂O₃; ■ – диопсид; ◇ – гематит; ◆ – 2CaO·MgO·2SiO₂ или 2CaO·Al₂O₃·SiO₂; □ – волластонит

Высококальцевый шлак имеет подобное стеклобю аморфное строение (рис. 1, б). Он сложен в основном (80 – 90 %) стеклофазой кальций-ферроалюмосиликатного состава и кристаллофазой (10 – 20 %) из минералов кварца, анортита, диопсида и волластонита, содержание которых в небольших (до 20 – 25 %) количествах, как установлено к настоящему времени, способствует упрочнению межпоровых перегородок пеностеклокристаллических материалов.

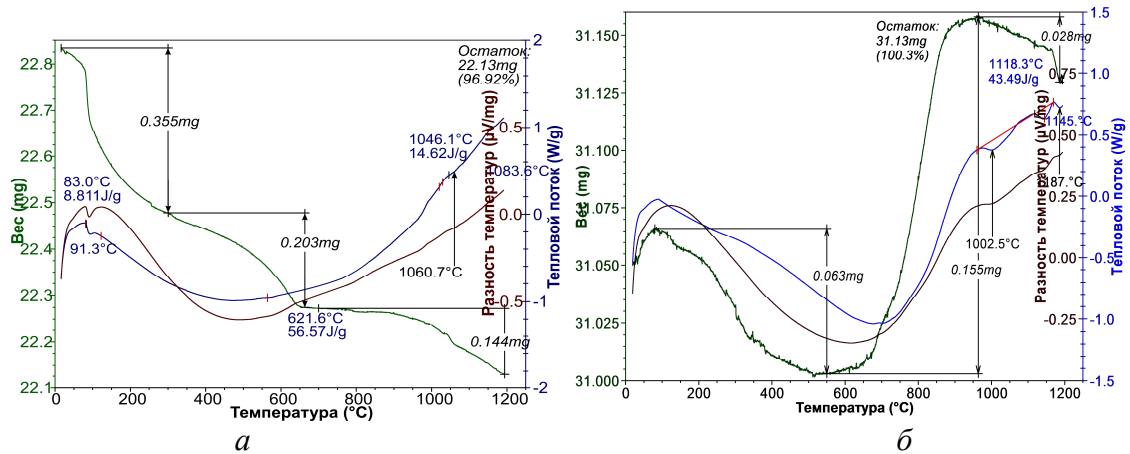


Рис. 2. Кривые ДТА стеклобю (а) и высококальцевого шлака (б)

На кривой ДТА высококальцевого шлака при температурах до 1000 °С отсутствуют эндо- и экзоэффекты, что свидетельствует об отсутствии в нем превращений при обжиге в этом интервале температур. Вместе с тем при обжиге высококальцевого шлака возможно образование некоторого количества расплава за счет наличия в нем оксидов натрия и калия уже при температуре 760 °С, подтверждаемое характером его кривой плавкости (рис. 3), что предполагает вероятность усиления образования расплава и соответственно вспенивания при использовании его в композициях со стеклобюем. Приведенные свойства высококальцевого шлака определяют вероятность его эффективного

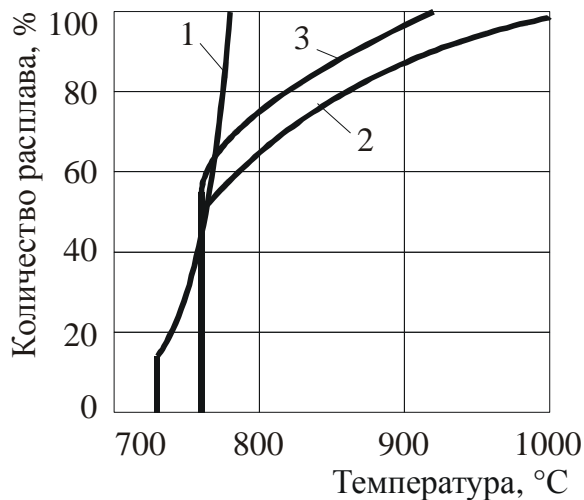


Рис. 3. Кривые плавкости стеклобю (1), шлака (2) и отвальной золы (3) в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

применения в композициях со стеклобюем для получения пеностеклокристаллических материалов.

Высококальцевая зола так же, как и высококальцевый шлак, обеспечивает возможность образования некоторого количества расплава при температуре обжига 760 °С (рис. 3), что может интенсифицировать плавление композиций на основе стеклобю с ее применением. Как компонент из золоотвала, содержащий соединения оксидов кальция в виде его гидратов и карбонатов и включающий остаточное топливо, которые разлагаются с выделением паров

воды (гидрат кальция) и газообразного CO_2 (карбонат кальция и остаточное топливо) в интервале температур 450 – 800 °С), совпадающим с интервалом температур размягчения и плавления стеклобоя, высококальциевая зола определяет возможность вспенивания композиций на основе стеклобоя с ее добавкой.

С целью обеспечения эффективности вспенивания масс на основе композиций стеклобоя и высококальциевых золошлаковых отходов при температуре 800 °С в качестве добавочных материалов использовали жидкое стекло с плотностью 1400 кг/м³ и силикатным модулем 3,0 и дистиллированный глицерин с плотностью 1260 кг/м³.

При исследовании свойств сырья и полученных пеностеклокристаллических материалов применялись методы химического, рентгенофазового анализа (Advance D8 Bruker), дифференциально-термический (Du Pont-1000) и микроскопический анализы. Для оценки комплексного влияния состава композиций и температуры обжига на свойства пеностеклокристаллических материалов использовался эконометрический метод математического планирования и обработки данных в программах Microsoft Excel и Mathcad.

В соответствии со структурно-методологической схемой выполнение работы начинается с исследования свойств стеклобоя из смеси оконного и тарного стекла и высококальциевых золошлаковых отходов и исследования физико-химических процессов при обжиге пеностеклокристаллических материалов. Выполнение работы завершается разработкой составов и исследованием структуры и свойств пеностеклокристаллических материалов, их опытно-промышленными испытаниями, разработкой технологического регламента и практических рекомендаций по изготовлению и применению пеностеклокристаллических материалов.

В третьей главе приведены результаты влияния количества, свойств сырьевых компонентов и температуры обжига на вспенивание и формирование структуры пеностеклокристаллических материалов, изложены результаты исследования физико-химических процессов, протекающих при их обжиге, дана оценка комплексного влияния состава композиций и температуры обжига на свойства пеностеклокристаллических материалов.

При выборе компонентов композиций исходили из условия их вспенивания в интервале температур 600 – 800 °С. Поэтому в качестве основного их компонента использовали стеклобой как наиболее легкоплавкий. В качестве добавочных компонентов к стеклобою опробовали высококальциевый шлак и золу.

При исследовании вспенивания масс из композиций стеклобоя и добавок высококальциевого шлака содержание добавки изменяли от 10 до 90 % с целью выявления максимального содержания шлака в композиции и замены им как можно большей части стеклобоя, предпосылкой чему является сходство их аморфности строения. Стеклобой как активатор плавления композиций применяли с тонкостью помола, характеризующейся остатком не более 5 % на сите с размером ячейки 0,063 мм, что соответствует образованию расплава в материалах, получаемых обжигом. Высококальциевый шлак как вовлекаемый в процесс плавления компонент использовали двух фракций более грубого помола: с тонкостью до прохождения частиц через сито с размером ячейки 0,16 и 0,315 мм.

Для оценки вспенивания композиций из них изготавливались гранулы на тарельчатом грануляторе. В качестве связки при грануляции композиций применялась вода в количестве 16 – 18 % или жидкое стекло в количестве 30 %, выбранные как достаточные для получения гранул.

Экспериментально установлено, что вспенивание гранул происходит при использовании для их изготовления композиций из смеси стеклобоя и высококальцевого шлака, при грануляции которых применяется жидкое стекло в количестве 30 % от сухой смеси (рис. 4). При этом эффект вспенивания гранул наиболее интенсивно проявляется при введении в состав композиций при их получении высококальцевого шлака с размером частиц менее 0,16 мм и в количестве 30 – 40 %. Так, после обжига при температуре 800 °С коэффициент вспенивания гранул из композиций с добавкой шлака в количестве 30 – 40 % составляет 10,5 – 10,7, насыпная плотность 180 – 190 кг/м³ против 8,8 – 9,0 и 220 – 230 кг/м³ соответственно для гранул, полученных при тех же условиях, на основе стеклобоя без добавки шлака. Прочность при сжатии в цилиндре гранул из композиций стеклобоя с добавкой шлака в количестве 30 – 40 % сохраняется практически на том же уровне, что и прочность при сжатии в цилиндре гранул на основе стеклобоя без его добавки, несмотря на увеличение объема гранул и связанное с этим возможное снижение толщины стенок и увеличение межзерновой пустотности при засыпке их в цилиндр (рис. 4). Прочность же самих гранул из композиций стеклобоя с добавкой шлака более высокая по сравнению с прочностью гранул на основе стеклобоя без его добавки и составляет 4,5 против 1,8 МПа.

Проведенные исследования по оценке изменения объема и пористости гранул из композиций стеклобоя с добавкой высококальцевого шлака в количестве 30 и 40 % в зависимости от температуры обжига показали, что при обжиге до 500 °С происходит спекание гранул, сопровождающееся их усадкой и увеличением плотности (рис. 5). Увеличение объема гранул и снижение насыпной плотности начинает происходить после обжига при температуре 600 °С и интенсивно протекает при обжиге в интервале температур 700 – 800 °С с формированием закрытой пористости при образовании ровной гладкой поверхности самих гранул.

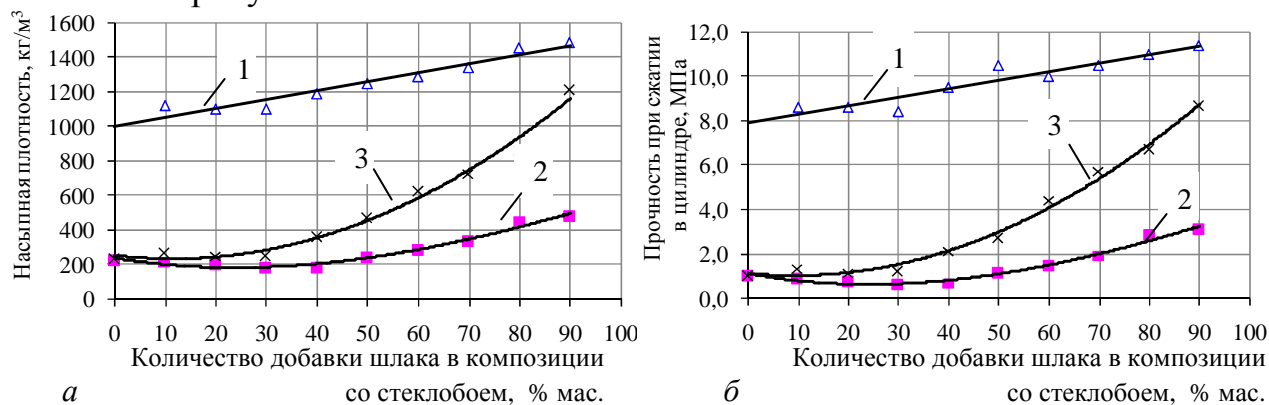


Рис. 4. Изменение плотности (а) и прочности (б) гранул, обожженных при температуре 800 °С, в зависимости от содержания и размера частиц шлака в композиции для их получения с использованием воды при грануляции (1) и жидкого стекла (2, 3) в количестве 30 % (размер частиц шлака: 1, 2 – менее 0,16 мм; 3 – менее 0,315 мм)



Рис. 5. Изменение объема и пористости гранул из композиций стеклобоя с добавкой 40 % (а) и 30 % (б) высококальциевого шлака в зависимости от температуры обжига

Структура гранул характеризуется равномерно распределенными мелкими изолированными порами с гладкими припоровыми стенками. Поры с прозрачными стенками, являющиеся, как известно, результатом протекания ликвационных процессов, которые впоследствии разрушаются с образованием открытой пористости, в гранулах отсутствуют, что является гарантией стабильности прочности и теплозащитных свойств разработанных пеностеклокристаллических материалов.

Обжиг гранул при температуре 850 °С сопровождается уменьшением их размера, увеличением насыпной плотности с 180 – 190 кг/м³ до 250 – 260 кг/м³ и образованием крупных кратерообразных пор на поверхности, свидетельствующим об их пережоге. Полученные результаты позволили установить, что оптимальной температурой обжига гранулированных пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя с добавкой высококальциевого шлака является температура 800 °С с выдержкой 20 мин. При этом с точки зрения обеспечения наилучшего сочетания коэффициента вспенивания гранул, насыпной плотности, прочности при сжатии в цилиндре и структуры гранул более предпочтительным составом является состав композиции стеклобоя с добавкой высококальциевого шлака в количестве 30 % по сравнению с составом композиции стеклобоя с добавкой высококальциевого шлака в количестве 40 %. Подтверждением такому заключению являются данные, приведенные на рис. 5. После обжига при температуре 800 °С гранулы из композиции стеклобоя с добавкой 40 % шлака остаются более плотными по сравнению с гранулами из композиции с добавкой 30 % шлака. После же обжига при температуре 850 °С они также, как и гранулы из композиции с добавкой 30 % шлака, хотя и в меньшей степени, уже вспениваются с поверхности, что свидетельствует об их пережоге.

С целью уменьшения расхода жидкого стекла для грануляции композиций оптимального состава проведены исследования изменения насыпной плотности гранул из них в зависимости от снижения плотности жидкого стекла с 1400 до 1100 кг/м³, с применением которого получали гранулы. С целью снижения насыпной плотности гранул исследовано изменение коэффициента вспенивания гранул из композиций оптимального состава при введении в жидкое стекло, применяемое для грануляции, добавки глицерина в количестве от 0,9 до 1,5 %.

Установлено, что при снижении плотности жидкого стекла с 1400 до 1100 кг/м³ насыпная плотность гранулированных пеностеклокристаллических материалов из композиций оптимального состава увеличивается с 180 – 190 до 310 – 315 кг/м³. Обуславливается это тем, что при снижении плотности жидкого стекла уменьшается содержание вводимого с ним плавнеобразующего оксида натрия. В результате получается более тугоплавкая композиция с более низкой способностью к вспениванию, сопровождающейся формированием более плотных гранул. Поэтому применение жидкого стекла с плотностью ниже 1400 кг/м³ для грануляции композиций принято нецелесообразным.

Добавка же глицерина в количестве 1 % в жидкое стекло при грануляции композиций способствует повышению коэффициента вспенивания гранул из композиций оптимального состава с 10,7 до 11,7 и снижению насыпной плотности с 180 – 190 до 160 – 170 кг/м³ по сравнению с коэффициентом вспенивания и насыпной плотностью гранул из композиций того же состава, при грануляции которых добавка глицерина не применялась.

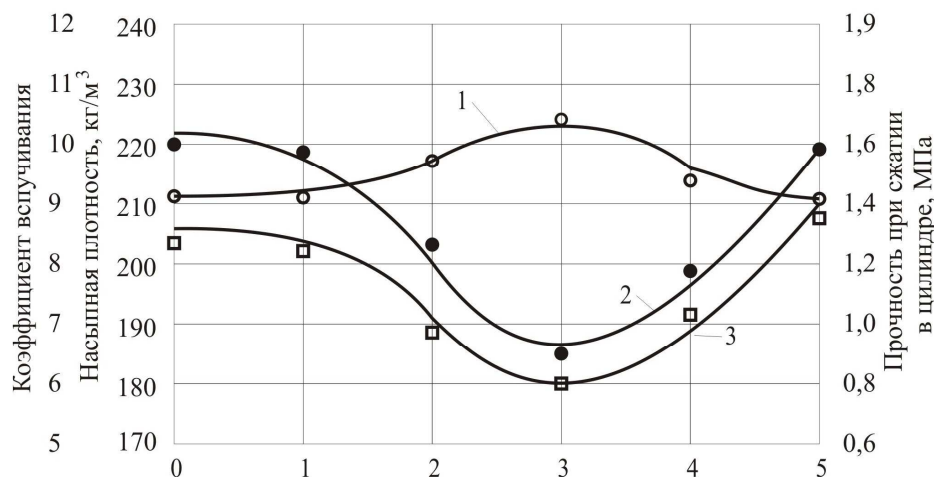
При оценке влияния добавки высококальциевой золы на вспенивание стеклобоя ее содержание в композициях с ним изменяли от 1 до 5 %. Выбор небольших количеств высококальциевой золы для введения в композиции обусловлен тем, что при повышении ее количества за счет выгорания остаточного топлива, разложения гидратов и карбонатов кальция, имеющихся в ней, создается возможность увеличения объема вспенивающих газов до предела, который расплаву будет трудно удерживать, в итоге газообразные продукты выйдут наружу, образуя на поверхности открытые поры.

В композициях со стеклобоем высококальциевую золу так же, как и высококальциевый шлак, использовали с размером частиц менее 0,16 мм. Для грануляции композиций применяли жидкое стекло с плотностью 1400 кг/м³ в количестве 30 % от сухой смеси, установленное как оптимальное на примере композиций с добавкой высококальциевого шлака.

Анализ экспериментальных зависимостей показал (рис. 6), что наилучшее сочетание свойств гранул достигается при содержании добавки высококальциевой золы в композиции, из которой они получены, в количестве 3 %. Коэффициент вспенивания гранул составляет 10,5, насыпная плотность 180 – 190 кг/м³, прочность при сжатии в цилиндре 0,8 МПа. Полученные гранулы имеют глянцевую поверхность, их структура характеризуется равномерно распределенными порами при размещении пор меньших (1,0 – 1,5 мм) размеров между порами больших (2,0 – 2,5 мм) размеров, что благоприятно для прочности и теплозащитных свойств материала.

С целью определения влияния вида исследованных добавок и их количества на характер вспенивания и на свойства пеностеклокристаллических материалов проведены исследования изменения количества жидкой и твердой фазы и состава твердой фазы при обжиге композиций с применением диаграмм состояния Na₂O – Al₂O₃ – SiO₂ и CaO – Al₂O₃ – SiO₂, расчетами выполнены исследования изменения содержания гидратов и карбонатов кальция при изменении количества высококальциевой золы в композициях с этой добавкой и изменения вязкости жидкой фазы при обжиге композиций. С применением методов

ДТА и рентгенофазового анализа проведены исследования процессов, протекающих при обжиге композиций, и фазового состава композиций после обжига.



Количество высококальциевой золы в смеси со стеклобоем, % мас.

Рис. 6. Изменение коэффициента вспенивания (1), насыпной плотности (2) и прочности при сжатии в цилиндре (3) гранул после обжига при температуре 800 °С в зависимости от содержания высококальциевой золы в композиции со стеклобоем

В результате выполненных исследований установлено, что способные к вспениванию составы композиций из смеси стеклобоя и высококальциевого шлака в количестве 30 – 40 % или высококальциевой золы в количестве от 1 до 5 % имеют узкий интервал плавления (рис. 7).

К температуре обжига 740 °С, что видно из кривой ДТА (рис. 8), плавление композиции из смеси стеклобоя (70 %) и высококальциевого шлака (30 %), гранулированной с использованием жидкого стекла, завершается. К этой же температуре обжига завершаются процессы, связанные с выделением газообразных продуктов, которое обеспечивает вспенивание гранул, о чем свидетельствует прекращение потерь массы композиций, отмечаемых на кривой ТГ.

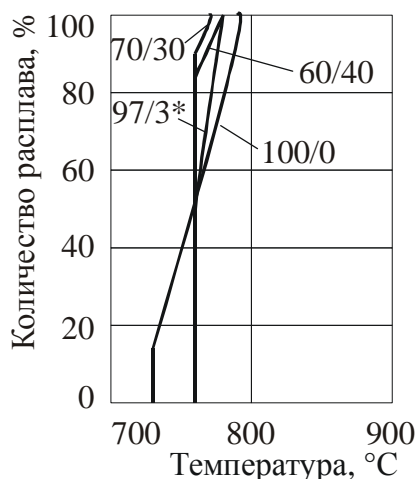


Рис. 7. Кривые плавкости композиций, способных к вспениванию, в системе

$\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (в цифрах на рисунке перед дробью показано содержание стеклобоя, после дроби — шлака или золы)*

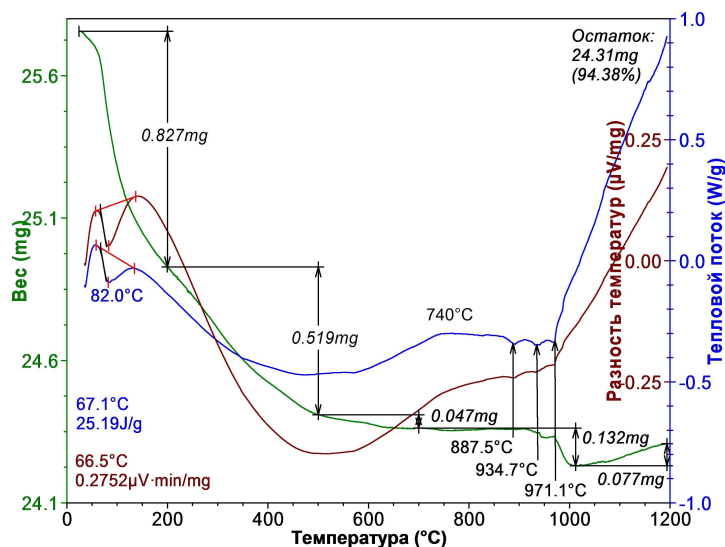


Рис. 8. Кривые ДТА композиции из смеси стеклобоя (70 %) и шлака (30 %), гранулированной с использованием 30 % жидкого стекла

Тот факт, что потери массы композиции значительно больше (рис. 8), чем потери массы стеклобоя и шлака в этом же интервале температур (рис. 2), дает основание сделать заключение, что вспенивание гранул из композиций стеклобоя со шлаком, гранулированных с применением жидкого стекла, обеспечивается выделением паров воды при разложении жидкого стекла.

Усиление эффекта вспенивания гранул из композиции стеклобоя (70 %) и шлака (30 %), гранулированной с использованием жидкого стекла (30 %) и добавки глицерина (1 %), обуславливается наложением на уже происходивший процесс вспенивания дополнительного вспенивания за счет выделения CO_2 при горении глицерина, протекающего в интервале температур, совпадающим с интервалом плавления композиции.

Вспенивание гранул из композиций стеклобоя (95 – 99 %) с добавкой высококальциевой золы (1 – 5 %), при грануляции которых применялось жидкое стекло в количестве 30 %, достигается сочетанием выделения паров воды при разложении жидкого стекла и гидроксида кальция высококальциевой золы и выделения CO_2 при выгорании остаточного топлива и разложении вторичного кальцита высококальциевой золы.

Получаемая при сгорании Ирша-Бородинского угля Абаканской ТЭЦ высококальциевая зола содержит 8 – 9 % свободного оксида кальция. При гидроудалении она гасится, а при хранении в золоотвале карбонизируется. Расчеты показывают, что одно и тоже содержание высококальциевой золы при условии либо полной гидратации, либо полной карбонизации обеспечивает образование сравнимых количеств или гидроксида кальция, или вторичного кальцита (табл. 2). За счет этого в отвальной золе при разной степени ее карбонизации будут присутствовать гидраты и карбонаты кальция, хотя и в разном соотношении, но разлагающиеся с выделением агентов вспенивания (паров воды и газообразного CO_2) композиций в интервале температур 472 – 764 °С, совпадающим с интервалом плавления стеклобоя, что гарантирует стабильность процесса вспенивания композиций с ее применением. Стабилизации вспенивания композиций с добавкой высококальциевой золы будет способствовать и выгорание остаточного топлива (экзоэффект при температуре 486 °С), содержащегося в ней, в совпадающем интервале температур. Образующийся при разложении гидратов и карбонатов кальция оксид кальция составляет незначительное (0,08 – 0,42 %) количество (табл. 2), способное полностью раствориться в жидкой фазе при обжиге. Отсутствие оксида кальция в свободном состоянии в материале, в свою очередь, гарантирует надежность и стабильность свойств при его эксплуатации.

Таблица 2

Количество соединений кальция, образующихся в композициях со стеклобоем при введении в них высококальциевой золы

Содержание золы в композиции, % мас.	Содержание, % мас., в исходной композиции		Содержание СаО в композиции после обжига, % мас.
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	CaCO_3	
1,0	0,11	0,14	0,08
2,0	0,21	0,28	0,16
3,0	0,33	0,42	0,25
4,0	0,44	0,56	0,33
5,0	0,56	0,70	0,42

По результатам изменения вязких свойств композиций в зависимости от температуры обжига установлено, что наиболее эффективное их вспенивание происходит при стабилизации вязкости в узком интервале, равном $10^{4,1} - 10^{4,7}$ дПа·с для композиций из смеси стеклобоя и высококальциевой золы в количестве 3 % и для композиций на основе применяемого стеклобоя без добавок и в интервале, равном $10^{6,0} - 10^{6,8}$ дПа·с для композиций из смеси стеклобоя с добавкой высококальциевого шлака в количестве 30 %. Более высокая вязкость композиций стеклобоя с добавкой высококальциевого шлака в количестве 30 % в интервале температур пиропластического состояния обуславливает получение гранулированных пеностеклокристаллических материалов из них с более тонкопористой структурой (размер пор 1,0 – 1,5 мм) по сравнению с такими же материалами из композиций стеклобоя (размер пор 1,5 – 2,5 мм) с добавкой высококальциевой золы в количестве 3 % при одинаковой насыпной плотности.

По данным рентгенофазового анализа установлено, что после обжига при температуре 800 °С пеностеклокристаллические материалы сложены аморфной фазой и кристаллофазой. Судя по количеству линий кристаллических фаз и их интенсивности, содержание кристаллофазы в пеностеклокристаллических материалах выше, чем в высококальциевом шлаке, и значительно выше, чем в исходной смеси, из которой они получены. Так, если на рентгенограмме исходной композиции из смеси стеклобоя (70 %) и высококальциевого шлака (30 %), гранулированной с применением жидкого стекла, отмечаются только некоторые отражения кристаллических фаз, вносимых в нее со шлаком (рис. 9, а), то на рентгенограмме пеностеклокристаллического материала из нее после обжига, кроме линий фаз, отмечаемых на рентгенограмме шлака (рис. 9, б), фиксируются дополнительные линии отражений значительной интенсивности анортита ($4,0714; 3,2415; 3,1842; 3,1542$)· 10^{-10} м и волластонита ($3,8236; 3,5079; 3,3012$)· 10^{-10} м (рис. 9, в).

В этой главе также приведены регрессионные уравнения взаимосвязи коэффициента эффективного вспенивания, насыпной плотности и прочности при сжатии в цилиндре гранулированных пеностеклокристаллических материалов с количеством высококальциевого шлака или высококальциевой золы в композициях, из которых материалы изготовлены, и с температурой их обжига, разработанные с применением эконометрических методов планирования. На основании установленных зависимостей построены номограммы, позволяющие на практике выбирать состав композиций и температуру обжига для получения пеностеклокристаллических материалов с заданными свойствами.

В четвертой главе приведены свойства гранулированных и блочных пеностеклокристаллических материалов из композиций оптимального состава, представлены результаты разработки технологии их изготовления в лабораторных и производственных условиях, приведены результаты опытно-промышленных испытаний пеностеклокристаллических материалов, дана оценка технико-экономической эффективности их получения и применения.

Для исследования свойств гранулированных и блочных пеностеклокристаллических материалов в качестве оптимального состава композиций при их изготовлении был выбран состав из смеси стеклобоя (70 %) и высококальциевого

шлака (30 %), гранулированной с использованием жидкого стекла в количестве 30 %. Состав является наиболее благоприятным не только с точки зрения обеспечения наименьшей насыпной плотности материалов и равномернопористой их структуры, но и с точки зрения пониженного содержания в нем стеклобоя.

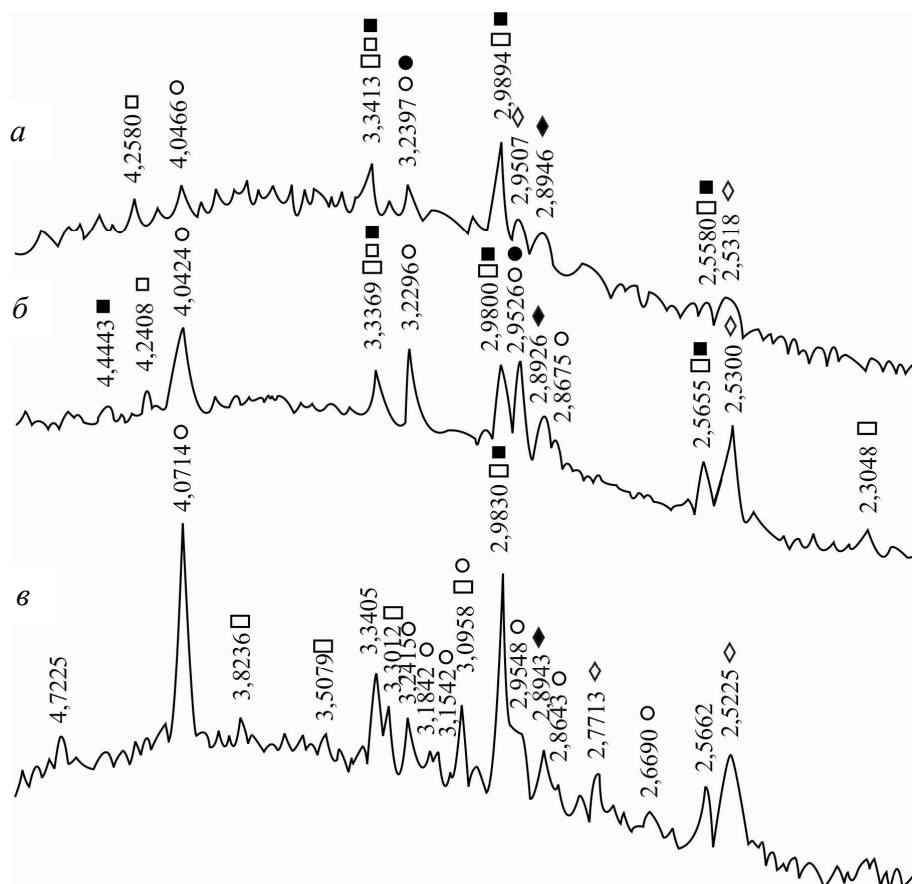


Рис. 9. Рентгенограммы композиции стеклобоя (70 %) и высококальциевого шлака (30 %), гранулированной с добавкой 30 % жидкого стекла (а), высококальциевого шлака (б) и пеностеклокристаллического материала из нее (в): □ – кварц; ○ – анортит; ● – $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; ■ – диопсид; ◇ – гематит; ◆ – $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ или $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$; □ – волластонит

В лабораторных условиях путем грануляции смеси выбранного состава на тарельчатом грануляторе и последующей его сушки при температуре 25 °С в течение 6 час. было изготовлено пять партий гранулята. При получении каждой партии применяли заново подготовленные сырьевые компоненты. Часть изготовленного гранулята каждой партии использовали для получения гранулированных материалов, часть – для изготовления блочных материалов.

Для получения гранулированных пеностеклокристаллических материалов подготовленный гранулят укладывали на огнеупорную подставку, посыпанную глиноземом. Для изготовления блочных материалов подготовленный гранулят засыпали в предварительно обмазанную глиняным шликером металлическую форму на 1/3 ее объема. Обжиг гранулированных и блочных материалов проводили при температуре 800 °С и с выдержкой 20 мин, установленными как оптимальные.

Для опытно-промышленных испытаний разработанных пеностеклокристаллических материалов подготовку сырьевых компонентов при их изготовле-

нии, дробление и помол компонентов, просеивание, смешивание, сушку и обжиг материалов проводили на действующем оборудовании кирпичного завода. Для грануляции смесей использовали дополнительно установленный на участке цеха формования кирпича тарельчатый гранулятор.

Результаты производственного опробования подтверждают результаты лабораторных исследований по разработке пеностеклокристаллических материалов (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительные показатели свойств гранулированных и блочных пеностеклокристаллических материалов, изготовленных в лабораторных и опытно-промышленных условиях

Показатель свойства	Условия изготовления материалов		Материал – сравнение	
	лабораторные*	опытно-промышленные		
Гранулированный пеностеклокристаллический материал			Гранулированное пеностекло (ТУ 5914-001-73893595–2005)	Керамзит (ГОСТ 9757–90)
Диаметр гранул, мм	10 – 20	10 – 20	10 – 20	10 – 20
Насыпная плотность, кг/м ³	176 – 190	184	150 – 200	250 – 600
Прочность при сжатии в цилиндре, МПа	0,9 – 1,3	1,3	до 0,5 – 1,0	0,5 – 3,3
Коэффициент прочности	0,6	0,71	0,43	0,4
Водопоглощение, % об.	2,8 – 3,4	2,1	≤10	8 – 20
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	0,049 – 0,057	0,056	0,053 – 0,062	0,10 – 0,16
Блочный пеностеклокристаллический материал			Блочное пеностекло (ТУ 5914-001-73893595–2005)	
Плотность средняя, кг/м ³	320 – 330	328	300 – 400	
Прочность при сжатии, МПа	4,1 – 4,5	4,2	1,5 – 3,5	
Коэффициент прочности	1,32	1,28	0,71	
Водопоглощение, % об.	3,4 – 4,8	4,2	≤10	
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	0,077 – 0,091	0,092	0,060 – 0,075	

* – свойства образцов из пяти партий.

После обжига при температуре 800 °С разработанные гранулированные пеностеклокристаллические материалы по значению насыпной плотности превосходят керамзитовый гравий, по значениям коэффициентов прочности и теплопроводности превосходят и керамзитовый гравий, и сравнимое по плотности гранулированное пеностекло. Разработанный блочный пеностеклокристаллический материал превосходит применяемое блочное пеностекло по коэффициенту прочности при незначительном увеличении коэффициента теплопроводности (табл. 3). При нагревании до 800 °С разработанные материалы испытывают плавление без превращений, связанных с выделением газообразных продуктов,

максимальные потери массы не превышают 0,25 %, что позволяет отнести их к группе негорючих.

Блочные материалы легко поддаются декоративной обработке наружной поверхности. Для этого цветной стеклобой (остаток 1 % на сите 5 мм) равномерным слоем рассыпается по поверхности блока, после чего блок подвергается повторному обжигу по тому же режиму, что и исходный блок.

Анализ технологических схем изготовления пеностекла и подобных ему материалов показал, что в качестве базовой при изготовлении разработанных пеностеклокристаллических материалов в производственных условиях может быть принята существующая технология пеностекла на Пермском заводе с корректировкой отдельных технологических переделов применительно к используемым в работе материалам. В качестве приема повышения содержания высококальциевого шлака с 30 до 40 % в исходной композиции предложена технология изготовления пустотелых гранул путем окатывания замороженных при температуре $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ образцов-цилиндров или образцов кубиков из жидкого стекла в сухой подогретой до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ порошкообразной смеси и последующего обжига при температуре $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 10). На предлагаемую технологию изготовления пеностеклокристаллических материалов подана заявка на получение патента РФ.

Увеличение содержания высококальциевого шлака в смеси при такой технологии достигается за счет того, что при оттаивании ядра из жидкого стек-



Рис. 10. Полая гранула из композиции стеклобой (60 %) и шлака (40 %) в разрезе

ла образующаяся вокруг него достаточно тонкая оболочка из порошкообразной смеси обогащается оксидом натрия и в результате достигается способность к вспениванию смеси с повышенным содержанием тугоплавкого компонента.

Сравнительные расчеты показывают, что применение разработанных пеностеклокристаллических материалов в качестве теплоизоляции наружной стены по сравнению с использованием для этой цели минераловатных плит и пенобетона обеспечивает снижение удельного коэффициента, характеризуемого отношением стоимости 1 м^2 к его долговечности, в 3 и 4,5 раза соответственно. Применение разработанных материалов в виде плит по сравнению с жесткими минераловатными плитами и пенобетоном обеспечивает повышение сопротивления теплопередаче теплоизоляции перекрытия в 1,12 и 2,12 раза соответственно и снижение массы 1 м^2 утеплителя в 1,1 и 1,5 раз соответственно.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Тонкость помола высококальциевого шлака, сложенного стеклофазой (80 – 90 %) и кристаллофазой из анортита, волластонита и диопсида, и высококальциевой золы из золоотвала, содержащей остаточное топливо, гидраты и карбонаты кальция, до размера частиц менее 0,16 мм является достаточной для применения их в композициях с тонкомолотым стеклобоем с размером частиц

менее 0,063 мм при получении пеностеклокристаллических материалов с насыпной плотностью 180 – 190 кг/м³.

2. Эффективное вспенивание композиций на основе стеклобоя с коэффициентом вспенивания 10,5 – 10,7 обеспечивается при содержании в ее составе добавки высококальциевого шлака в количестве 30 % или добавки высококальциевой золы в количестве 3 %, гранулированных с использованием жидкого стекла плотностью 1400 кг/м³ в количестве 30 %, после обжига в течение 3 ч. с выдержкой 20 мин при температуре 800 °С.

3. Эффект вспенивания композиций из смеси стеклобоя (70 %) и высококальциевого шлака (30 %), гранулированной с применением жидкого стекла в количестве 30 %, обеспечивается выделением паров воды при разложении жидкого стекла. Эффект вспенивания композиций из смеси стеклобоя (97 %) и высококальциевой отвалной золы (3 %), содержащей остаточное топливо, гидроксид кальция и вторичный кальцит в количестве 0,25 – 0,33 %, достигается выделением паров воды, образующихся при разложении жидкого стекла и гидроксида кальция, и выделением СО₂ при выгорании остаточного топлива и разложении вторичного кальцита золы.

4. Пеностеклокристаллические материалы из композиций оптимальных составов имеют высокооднородное мелко- и среднепористое строение с размером пор 1,0 – 1,5 мм (добавка шлака) и 1,5 – 2,5 мм (добавка высококальциевой золы) и сложены преимущественно аморфной фазой при небольшом содержании кристаллофазы из минералов волластонита и анортита, что обеспечивает прочность пеностеклокристаллических материалов.

5. Композиции из смеси стеклобоя (70 %) и высококальциевого шлака (30 %), гранулированные с применением жидкого стекла плотностью 1400 кг/м³, установленной как оптимальная, после обжига при температуре 800 °С обеспечивают получение негорючих гранулированных пеностеклокристаллических материалов с насыпной плотностью 180 – 190 кг/м³ и прочностью при сжатии в цилиндре 0,9 – 1,2 МПа и блочных – со средней плотностью 320 – 330 кг/м³ и прочностью при сжатии 4,1 – 4,5 МПа.

6. Получение блочных пеностеклокристаллических материалов с плотностью 320 – 330 кг/м³ достигается путем обжига при температуре 800 °С с выдержкой 20 мин. при этой температуре свободно засыпанных в форму на 1/3 ее объема сырцовых гранул из композиции стеклобоя (70 %) и высококальциевого шлака (30 %), при гранулировании которых применяется жидкое стекло. Обеспечение декоративной наружной поверхности блоков достигается путем равномерного распределения цветного стеклобоя с остатком не более 1 % на сите с размером ячейки 5 мм по поверхности готового блока и его повторного обжига по тому же температурному режиму.

7. Изготовление гранул путем окатывания замороженных при температуре -14 °С образцов-цилиндров или образцов-кубиков из жидкого стекла в сухой подогретой до 70 °С порошкообразной смеси и последующего обжига при температуре 800 °С обеспечивает повышение содержания высококальциевого шлака в композиции со стеклобоем с 30 до 40 % при получении гра-

нулированных пеностеклокристаллических материалов с насыпной плотностью 180 – 190 кг/м³.

8. Применение разработанных пеностеклокристаллических материалов в качестве теплоизоляции наружной стены по сравнению с использованием для этой цели минераловатных плит и пенобетона обеспечивает снижение удельного коэффициента, характеризуемого отношением стоимости 1 м² к его долговечности, в 3 и 4,5 раза соответственно. Применение разработанных материалов в виде плит по сравнению с жесткими минераловатными плитами и пенобетоном обеспечивает повышение сопротивления теплопередаче теплоизоляции перекрытия в 1,12 и 2,12 раза соответственно и снижение массы 1 м² утеплителя в 1,1 и 1,5 раз соответственно.

Публикации по теме диссертации

1. Селиванов, Ю. В. Применение поризованных материалов в конструкциях теплоизоляции [Текст] / Ю. В. Селиванов, А. Д. Шильцина, В. М. Селиванов, Е. В. Логинова, Д. Г. **Портнягин** // Строительные материалы. – 2010. – № 2. – С. 25–26 (из списка ВАК).

2. **Портнягин, Д. Г.** Составы и свойства пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя и высококальциевого шлака [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов, А. Д. Шильцина // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №8. – С. 25–28 (из списка ВАК).

3. Блажнова, О. В. Оценка возможности применения высококальциевого шлака ТЭЦ для получения пеностеклокристаллических материалов по энергоэффективной технологии низкотемпературного обжига [Текст] / О. В. Блажнова, Д. Г. **Портнягин**, Ю. В. Селиванов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №6. – С. 103–107 (из списка ВАК).

4. Селиванов, Ю. В. Возможности комплексного использования техногенного сырья в строительстве [Текст] / Ю. В. Селиванов, Д. Г. **Портнягин**, А. Д. Шильцина, В. М. Селиванов // X Международ. науч.-практ. конф. «Промышленные и бытовые отходы: проблемы хранения, захоронения, утилизации, контроля»: Сб. ст. – Пенза, 2006. – С. 63–65.

5. **Портнягин, Д. Г.** Перспективы производства пористых керамических материалов [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Сб. докл. и тез. докл. молодых ученых ХТИ – филиала СФУ. – Абакан, 2007. – С. 115–119.

6. Селиванов, Ю. В. Ситаллы на основе техногенного сырья [Текст] / Ю. В. Селиванов, Д. Г. **Портнягин**, В. М. Селиванов // XI Международ. науч. школа-конф. студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий». Сб. ст. – Абакан, 2007. – С. 73–74.

7. **Портнягин, Д. Г.** Технические и технико-экономические достоинства пеностекла [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Сб. докл. и тез. докл. молодых ученых ХТИ – филиала СФУ. – Абакан, 2008. – С. 87–92.

8. **Портнягин, Д. Г.** Анализ свойств распространенных теплоизоляционных материалов [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан, 2008. – № 25. – С. 92–96.

9. **Портнягин, Д. Г.** Декоративно-теплоизоляционные ситаллы на основе местного сырья Хакасии [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, А. Д. Шильцина // Вестник ХТИ – филиала СФУ. – Абакан, 2008. – С. 87–90.

10. **Портнягин, Д. Г.** Пеноситаллы на основе техногенного сырья [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан, 2008. – № 26. – С. 91–94.

11. **Портнягин, Д. Г.** Гранулированный пеноситалл [Текст] // Материалы Всерос. конф. «Современные проблемы производства и использования композиционных строительных материалов»: сб. науч. ст. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. – С. 137–140.
12. **Портнягин, Д. Г.** Гранулированный пеноситалл как перспективный теплоизоляционный материал [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Сб. докл. и тез. докл. молодых ученых ХТИ – филиала СФУ / под ред. А. А. Пантелеева. – Абакан: ХТИ – филиал СФУ, 2009. – С. 139–143.
13. **Портнягин, Д. Г.** Современные методы исследования кристаллических материалов [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан, 2009. – № 27. – С. 154–159.
14. **Портнягин, Д. Г.** Экспериментальная проверка стабильности характеристик пеноситаллов [Текст] / Д. Г. Портнягин, В. М. Селиванов, Т. В. Иванова И. Н. Скачкова // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан, 2009. – № 27. – С. 159–164.
15. **Портнягин, Д. Г.** Возможности получения закристаллизованного пеностекла [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Материалы международ. науч. техн. конф. «Инновационные методы в архитектуре и градостроительстве». – Саратов, 2009. – С. 95–97.
16. **Портнягин, Д. Г.** Теплоизоляционные стеклокристаллические материалы на основе стеклобоя и промышленных отходов [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов // Экология южной Сибири и сопредельных территорий. Вып. 13: в 2 т. Т. II / отв. ред. В. В. Анюшина. – Абакан: Изд-во Хакас. гос. ун-та им. Н. Ф. Катанова, 2009. – С. 65–66.
17. **Портнягин, Д. Г.** Возможности получения вспененных теплоизоляционных материалов из композиций с жидким стеклом [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан, 2010. – № 29. – С. 179–181.
18. **Портнягин, Д. Г.** Инновационная технология применения теплоизоляционных стеклокристаллических материалов [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Материалы международ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы градостроительной отрасли». – Саратов, 2010. – С. 88–90.
19. **Портнягин, Д. Г.** Механизм образования пены стеклокристаллического материала [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан, 2010. – № 30. – С. 78–83.
20. **Портнягин, Д. Г.** Вспененные стеклокристаллические материалы на основе техногенного сырья [Текст] / Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов, В. М. Селиванов // Инновационное развитие, модернизация и реконструкция объектов ЖКХ в современных условиях: материалы межрегион. науч. -практ. конф. – Абакан: ХТИ – филиал СФУ, 2010. – С. 123–126.
21. Козлов, В. И. Возможности получения пеностекла с оптимальной плотностью при использовании шихты с добавками промышленных отходов [Текст] / В. И. Козлов, К. А. Савченко, **Д. Г. Портнягин**, Селиванов В. М. // Сб. докл. и тез. докл. молодых ученых ХТИ – филиала СФУ / под ред. Н. В. Дулесовой. – Абакан: Сиб. федер. ун-т; ХТИ – филиал СФУ, 2011. – С. 41–43.
22. Слизевич М. С. Поиск эффективных пенообразователей для пеностекла [Текст] / М. С. Слизевич, Ю. А. Гаснер, **Д. Г. Портнягин**, В. М. Селиванов // Сб. докл. и тез. докл. молодых ученых ХТИ – филиала СФУ / под ред. Н. В. Дулесовой. – Абакан: Сиб. федер. ун-т; ХТИ – филиал СФУ, 2011. – С. 52–54.
23. **Портнягин, Д. Г.** Оценка кинетики вспенивания пеностекла с жидкостекольной связкой [Текст] / Д. Г. Портнягин // Инновационное развитие, модернизация и реконструкция объектов ЖКХ в современных условиях: материалы II межрегион. науч. -практ. конф. – Абакан: ХТИ – филиал СФУ, 2011. – С. 146–150.
24. **Портнягин, Д. Г.** Влияние количества и свойств сырьевых компонентов на вспенивание пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя и высококальциевого шлака [Текст] / Д. Г. Портнягин // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала СФУ. – Абакан, 2011. – № 29. – С. 179–181.

Портнягин Денис Геннадьевич

**ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
ИЗ КОМПОЗИЦИЙ СТЕКЛОБОЯ И ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ
ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ**

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