

## ОТЗЫВ

**официального оппонента** доктора технических наук, профессора Самченко Светланы Васильевны на диссертационную работу Гольцмана Бориса Михайловича на тему «**Научные основы ресурсосберегающей технологии термически вспененных алюмосиликатных материалов**», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

На отзыв представлены диссертация, изложенная на 376 страницах машинописного текста, включая 114 рисунков, 53 таблицы, список цитируемой литературы (312 наименований), 2 приложения, а также автореферат диссертации.

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертационное исследование выполнено по актуальной научной проблеме создания ресурсосберегающей технологии термически вспененных алюмосиликатных материалов с регулируемой пористой структурой и возможностью использования широкого спектра природного и техногенного сырья для производства энергоэффективных, негорючих и долговечных теплоизоляционных изделий.

### **Оценка содержания диссертации и ее завершенности**

Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения.

**Во введении** изложены основные научные положения и новые практические результаты диссертационной работы.

**В первой главе** систематизированы существующие технологические подходы к получению вспененных силикатных материалов, выделены их преимущества и ограничения. Проанализированы принципы действия порообразователей различной природы и флюсующих добавок. Обобщены данные о влиянии сырьевого состава, температурно-временных параметров и структурных особенностей на эксплуатационные характеристики конечных продуктов.

**Во второй главе** приведены данные о составе основных сырьевых материалов и вспомогательных реагентов, обеспечивающих порообразование и флюсование. Детально описаны процессы синтеза композиций и методы физико-химического анализа. Представлена конструкция авторской установки для визуализации и регистрации кинетических параметров вспенивания в режиме реального времени. Обоснована достоверность результатов за счет применения стандартизованных методик испытаний.

**Третья глава** рассматривает закономерности термического поведения смесей жидкого стекла и глицерина, определяющие эффективность порообразования. Установлено, что соотношение компонентов влияет на температуру начала газовыделения, устойчивость пены и формирование углеродного остатка, который выполняет роль стабилизатора при высоких температурах. Методами термического анализа и масс-спектропии

идентифицированы основные газообразные продукты разложения и определены температурные интервалы их выделения. Предложена модель, описывающая последовательность превращений: от испарения воды и глицерина через пиролиз с образованием аморфного углерода до окислительно-восстановительных реакций, генерирующих дополнительный объем вспенивающих газов.

**Четвертая глава** посвящена изучению возможности получения пористых материалов из золошлаковых отходов с высоким содержанием углеродистого остатка и оксидов железа без введения традиционных порообразователей. Исследовано индивидуальное и комбинированное действие фторида натрия и тетрабората натрия как флюсующих агентов, обеспечивающих снижение вязкости расплава и активацию газовыделения. Установлены оптимальные концентрации добавок, позволяющие сформировать равномерную пористую структуру с минимальной плотностью. Раскрыт механизм самовспенивания, включающий восстановление оксида железа углеродом, выделение газообразных продуктов и рост пор в интервале вязкопластичности материала.

**Пятая глава** описывает процессы структурообразования при гидратном вспенивании, основанном на взаимодействии щелочного активатора с алюмосиликатным сырьем различного происхождения. Показано, что при дегидратации геля щелочных силикатов выделяется значительный объем водяного пара, инициирующий образование пор. Дополнительное введение глицерина и плавней позволяет интенсифицировать газовыделение и снизить температуру вспенивания. Определены оптимальные составы шихт и температурные режимы для каждого вида сырья, обеспечивающие получение материалов с плотностью менее  $250 \text{ кг/м}^3$ .

**Шестая глава** обобщает экспериментальные результаты в виде комплекса эмпирических моделей, описывающих динамику формирования пористой структуры в зависимости от состава шихты и режимов термообработки. Разработаны модель взаимодействия «стеклопорошок – жидкое стекло – глицерин», модель структурообразования по гидратному механизму и модель флюсующего эффекта фторидно-боратных смесей. Проведена апробация моделей на органических порообразователях, фосфатных стекломатрицах, кристаллических и аморфных алюмосиликатах. Завершает главу описание универсальной трехкомпонентной композиции, позволяющей адаптировать технологию к широкому спектру исходного сырья и получать материалы с заданными характеристиками.

**Заключение** содержит научные практические результаты диссертационных исследований в форме выводов, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

**Диссертация** изложена в логической последовательности, формулировки и выводы соответствуют содержанию диссертации.

**Автореферат** соответствует содержанию и основным положениям диссертации.

**Публикации** автора, в том числе 19 статей в журналах перечня ВАК, 23 в изданиях, индексируемых в международных базах данных, пять патентов РФ на изобретение и одно свидетельство о государственной регистрации программ для

ЭВМ полностью и всесторонне отражают научные результаты диссертационной работы.

**Обоснованность и достоверность основных положений, результатов и выводов диссертации** подтверждается использованием современных методов анализа химического и фазового состава, структуры, физико-механических свойств материалов, использованием современного оборудования и соответствием результатов известным научным данным.

### **Новизна исследования и полученных результатов диссертации**

1. Выявлены причины ингибирования пенообразования жидкого стекла при добавлении глицерина за счет их химического взаимодействия и изменения теплоемкости и поверхностного натяжения смеси. Установить, что для предотвращения преждевременного выгорания глицерина необходимо соотношение «дегидратированное жидкое стекло : глицерин» выше «1 : 1».

2. Описаны процессы трансформации углеродной нанофазы при термической обработке пеностекольных шихт, включающие: разрыв связей в глицерине, формирования газообразных оксидов и аморфного углерода, его оседание на поверхности частиц стекла, сплавление в стекломассу и взаимодействие с сульфат-ионами и оксидом железа (III) с выделением объема вспенивающих газов.

3. Выявлены этапы взаимодействия смеси «стеклопорошок – жидкое стекло – глицерин» и установлены зоны активного газовыделения: испарение воды из жидкого стекла (80-130 °С), испарение глицерина (190-280 °С), образование CO<sub>2</sub> (320-450 °С). Описаны структурные изменения при высокотемпературном обжиге и доказана защитная функция жидкого стекла при формировании пиролитического углерода.

4. Сформулированы особенности вспенивания алюмосиликатного сырья по гидратному механизму, включающие образование смеси геля щелочных гидросиликатов и непрореагировавших частиц сырья; дегидратацию геля с выделением паров воды; формирование и оседание пены. Доказано дополнительное повышение пористости при введении глицериновой добавки, защищенной гелем гидросиликатов.

5. Сформулированы закономерности воздействия фторидно-боратных флюсующих смесей на термообработку алюмосиликатных материалов, включающие деполимеризующий эффект оксида натрия, формирование низкотемпературного расплава и перераспределение связей за счет оксида бора, а также снижение вязкости расплава за счет фторида натрия. Доказана комплексная интенсификация спекания, при совместном введении смесей «Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>+NaF».

6. Показана возможность порообразования золошлаковых отходов ТЭС по механизму «самовспенивания» при введении плавней за счет газовыделения от взаимодействия оксидов железа и углерода. Показан рост склонности к самовспениванию при повышении содержания аморфной фазы за счет большей внутренней энергии и реакционной способности.

7. Создан комплекс эмпирических моделей, описывающих фазово-структурные изменения при термической обработке шихт, и доказана их высокая предиктивная способность, подтвердившая возможность: а) использования спектра органических соединений в качестве порообразователей; б) вспенивания несиликатных матриц; в) вспенивания различного сырья при использовании трехкомпонентной смеси «плавень – вспениватель – активатор».

### **Значимость для науки и практики полученных результатов**

- Детально раскрыты механизмы взаимодействия компонентов комплексных порообразующих смесей, включая синергетический эффект гидратного и углеродного газовыделения;

- Впервые описаны этапы формирования и трансформации углеродной нанофазы в пеностекляных шихтах, а также установлены закономерности деполимеризации алюмосиликатного каркаса под действием фторидно-боратных флюсующих добавок;

- Создан комплекс эмпирических моделей, описывающих динамику структурообразования, расширяет методологию прогнозирования свойств пористых материалов в зависимости от состава шихты и режимов термообработки;

- Разработана ресурсосберегающая технология производства термически вспененных алюмосиликатных материалов, позволяющая снизить температуру вспенивания за счет применения эффективных флюсующих смесей и использовать широкий спектр природного (диатомит, опока) и техногенного (золошлаки, стеклобой) сырья;

- Предложена трехкомпонентная смесь «плавень – вспениватель – активатор» обеспечивает гибкое регулирование свойств конечного продукта: плотности в диапазоне 150–550 кг/м<sup>3</sup>, прочности 1–5 МПа и среднего размера пор до 400 мкм;

- Проведена успешная опытно-промышленная апробация технологии гранулированного пористого силикатного материала на основе диатомитового сырья, полученные материалы являются экологически безопасной, негорючей и долговечной альтернативой полимерным и минераловатным утеплителям.

Научные результаты диссертационной работы являются новым научным направлением создания эффективных и долговечных строительных теплоизоляционных материалов, внедрение которых расширяет теоретическую базу синтеза пористых силикатных материалов и могут служить фундаментом для дальнейших исследований в области высокотемпературной обработки алюмосиликатных систем, а также открывают новые направления в области рециклинга и утилизации и обеспечивают возможность использования других алюмосиликатных отходов.

### **Замечания и рекомендации:**

1. В первой главе диссертации следовало уделить больше внимания нетрадиционным для технологии пеностекла способам вспенивания. Это

особенно актуально с учетом того, что часть работы основана именно на таком гидратном способе вспенивания.

2. Неясно, почему при создании модели взаимодействия «жидкое стекло – глицерин» (рисунок 3.10 диссертации, рисунок 3 автореферата) автор исключил из внутреннего слоя жидкого стекла газообразные продукты разложения глицерина.

3. Из представленного рисунка, описывающего изменения при термообработке смесей «стеклопошок – жидкое стекло – глицерин» (рисунок 3.11 диссертации, 4 автореферата) сложно понять, о какой «серой «волне», распространяющейся вниз от верхней (более нагретой) части образца к нижней» идет речь.

4. Не совсем понятен выбор сырьевых материалов для вспенивания в главе 4. Почему были выбраны именно диатомит, опока, шлак ТЭС, кварцевый песок и полевой шпат?

5. Автор делает вывод о том, что склонность к самовспениванию ЗШО «снижается в ряду «котельный шлак → золошлаковая смесь → зола-уноса», что связано с уменьшением содержания стеклообразной аморфной фазы». Однако данный тезис следовало подтвердить результатами количественного рентгенофазового анализа, который показал бы реальное соотношение аморфной и кристаллических фаз.

6. Для исследованных составов фосфатных стекол следовало изучить их химическую стойкость и вывести закономерности ее изменения в зависимости как от соотношения структурообразующих оксидов, так и от способа вспенивания. Неясно, будет ли отличаться химическая стойкость одного и того же состава, вспененного по одностадийной и двухстадийной технологии.

Отмеченные замечания носят частный характер и несколько не снижают значимости представленных автором результатов и общей положительной оценки работы.

### **Заключение**

Диссертация Гольцмана Б.М. «Научные основы ресурсосберегающей технологии термически вспененных алюмосиликатных материалов», является научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, а именно, разработаны основы технологии термически вспененных алюмосиликатных материалов на основе спектра природного и техногенного сырья. Полученные результаты могут быть рекомендованы к ознакомлению и внедрению в производственную деятельность предприятий строительной индустрии, в том числе в технологические регламенты действующих производств пористых силикатных материалов, в практику научно-исследовательских институтов и лабораторий, а также в учебный процесс высших учебных заведений, осуществляющих подготовку по направлениям «Химическая технология», «Строительное материаловедение» и «Техносферная безопасность».

Диссертационная работа соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 25.01.2024), соответствует паспорта специальности 2.6.14, а ее автор, **Гольцман Борис Михайлович**, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

**Официальный оппонент:**

Доктор технических наук (05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов), профессор, заведующий кафедрой строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Самченко  
Светлана Васильевна

«20» мая 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

Адрес: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Телефон: +7 (499) 183-32-29

E-mail: [SamchenkoSV@mgsu.ru](mailto:SamchenkoSV@mgsu.ru) Сайт: <https://mgsu.ru/>

Подпись Самченко Светланы Васильевны ЗАВЕРЯЮ

НАЧАЛЬНИК УПРАВЛЕНИЯ  
ПО РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ

Т. И. ЧЕРЕПОВА

