

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора химических наук, профессора **Шиловой Ольги Алексеевны** 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

Актуальность темы диссертации. В связи с увеличением в последние годы масштабов строительства, как жилых домов, так и промышленных объектов, возрастает потребность в экологически безопасных, негорючих, влагостойких теплоизоляционных материалах, сохраняющих эксплуатационные характеристики в течение всего срока эксплуатации. В настоящее время наиболее распространены два вида утеплителей – вспененные полимеры, обладающие высокой горючестью и при горении выделяющие токсичные соединения, и минераловатные утеплители, теряющие теплоизоляционные свойства при контакте с водой и водяными парами. Хорошей альтернативой этим материалам могут быть термически вспененные алюмосиликатные материалы, отличающиеся экологичностью, негорючестью и длительным сроком службы. Привлекательным является использование для их получения исходного недорогого сырья, в т. ч. техногенных отходов. При этом, несмотря на то что термически вспененные алюмосиликатные материалы производятся и в России, и за рубежом, в научно-технической и патентной литературе крайне мало уделяется внимание изучению и установлению физико-химических закономерностей протекания процессов, сопровождающих получение вспененных алюмосиликатных материалов, выявлению влияния различных функциональных добавок и режимов термических обработок на их структуру и свойства, а также поиском возможности расширения используемой сырьевой базы. Диссертационное исследование Гольцмана Бориса Михайловича как раз восполняет этот пробел, концентрируясь на научно обоснованных методах и подходах к синтезу термически вспененных

алюмосиликатных материалов с заданным комплексом целевых свойств, обеспечивая при этом снижение энергозатрат, использование и расширение отечественной сырьевой базы. Важно отметить, что тематика диссертации Б.М. Гольцмана относится к *Сквозной технологии*: «Технологии создания новых материалов с заданными свойствами и эксплуатационными характеристиками», – из перечня важнейших наукоемких технологий, утвержденного Указом Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 "Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий". Таким образом, актуальность тематики диссертации Б.М. Гольцмана не вызывает сомнения.

Значимость для науки и практики. В результате выполнения диссертационной Б.М. Гольцман работы получил целый ряд важных результатов, отличающихся новизной и имеющих несомненную научную и практическую значимость. Среди них можно отметить следующие достижения:

- Впервые детально раскрыты механизмы взаимодействия компонентов комплексной порообразующей смеси «жидкое стекло – глицерин», включающие конкурирующие процессы испарения, пиролиза и окисления, а также установлена роль жидкого стекла как защитного агента, предотвращающего преждевременное воспламенение глицерина и обеспечивающего формирование пиролитической углеродной фазы;

- Сформулированы закономерности эволюции углеродной нанофазы в пеностекольных шихтах, включающие разрыв элемент-углеродных связей в глицерине, формирование аморфного углерода, его сплавление в размягченную стекломассу и последующее окислительно-восстановительное взаимодействие с компонентами стекла, обеспечивающее интенсивное вспенивание в области температур 770–850 °С.

- Развита теоретические представления о деполимеризации алюмосиликатных структур под действием фторидно-боратных флюсующих смесей, а именно деполимеризующий эффект оксида натрия, формирование

низкотемпературного расплава оксидом бора и резкое снижение вязкости массы фторидом натрия;

- Обоснованы механизмы «самовспенивания» золошлаковых отходов, основанные на совмещении размягчения силикатной массы с газовыделением при взаимодействии остаточного углерода с оксидом железа. Установлена корреляция между содержанием аморфной фазы в отходах и их склонностью к самовспениванию;

- Разработаны эмпирические модели, описывающие динамику формирования пористой структуры в зависимости от состава шихты, температурно-временных параметров и реологических характеристик расплава. Верификация моделей, проведенная на широком спектре природного (диатомит, опока, кварцевый песок, полевой шпат) и техногенного (золошлаки, стеклобой) сырья, подтвердила их высокую предсказательную способность. Разработанные модели вносят вклад в методологию проектирования материалов с заданными свойствами и могут быть использованы для оптимизации существующих технологических процессов;

- Разработана научно обоснованная ресурсосберегающая технология производства термически вспененных алюмосиликатных материалов, ориентированная на широкое внедрение в промышленность строительных материалов и решающей задачи импортозамещения, энергоэффективности и экологической безопасности, а также проведена ее опытно-промышленная апробация;

- Детально изучена эволюция углеродной нанофазы в силикатных расплавах, механизмов деполимеризации алюмосиликатных каркасов под действием флюсующих добавок и кинетики газовыделения в вязкопластичных средах вносит вклад в фундаментальные представления о поведении многокомпонентных систем при термообработке. Разработанные *in situ* методы исследования открывают новые возможности для изучения аналогичных процессов в других классах материалов.

По материалам диссертации получено 5 патентов Российской Федерации на изобретения, что также подтверждает новизну и практическую значимость разработанных технических решений.

Особо следует отметить внедрение результатов диссертационной работы в реальные производственные процессы и экономический расчет, подтверждающий экономический эффект от внедрения разработанных технологических процессов, что особенно важно для диссертации, представленной на технические науки.

Обоснованность и достоверность основных положений, результатов и выводов диссертации подтверждается использованием современных взаимодополняющих методов физико-химического анализа состава, структуры, и свойств получаемых материалов. Полученные результаты не противоречат современным теориям и представлениям.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности. Диссертация состоит из Введения, 6 глав и Заключения; изложена на 376 страницах машинописного текста, содержит 114 рисунков, 53 таблицы, список цитируемой литературы (312 наименований), 2 приложения.

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

В первой главе проведен критический анализ отечественного и зарубежного опыта в области производства вспененных силикатных материалов, систематизированы подходы к выбору порообразователей и флюсующих добавок. Рассмотрены основные физико-химические концепции, объясняющие процессы спекания, плавления и газовыделения при термической обработке шихт. Выявлены ключевые нерешенные проблемы, в том числе отсутствие целостного представления о механизмах структурообразования и необходимость снижения энергозатрат за счет интенсификации низкотемпературного вспенивания. Следует отметить, что литературный материал хорошо обобщен и структурирован в виде таблиц.

Вторая глава содержит подробную характеристику объектов исследования: природных алюмосиликатов, техногенных отходов и функциональных добавок. Описан режим синтеза пористых материалов и комплекс физико-химических методов исследования, а также экспериментальная установка, позволяющая фиксировать кинетику вспенивания *in situ*. Обоснована достоверность результатов за счет воспроизводимости экспериментов и использования аттестованных методик исследования.

Третья глава посвящена изучению закономерностей термической трансформации системы «жидкое стекло – глицерин» и ее влиянию на структурообразование пеностекла. Выявлено, что при избытке глицерина происходит его воспламенение, а при преобладании жидкого стекла – формирование пиролитического углерода. Установлены температурные интервалы выделения порообразующих газов. Предложена схема взаимодействия жидкого стекла и глицерина.

Четвертая глава раскрывает особенности получения пористых материалов из золошлаковых отходов, основанные на использовании внутреннего потенциала сырья – наличия остаточного углерода. Исследована роль фторида натрия и тетрабората натрия как плавней. Установлено, что бура способствует сохранению аморфной фазы. Сформулирован механизм самовспенивания, ключевым звеном которого является восстановление оксида железа углеродом с выделением газообразных оксидов углерода.

Пятая глава посвящена исследованию гидратного механизма порообразования, реализуемого при взаимодействии щелочных растворов с алюмосиликатным сырьем различного генезиса. Показано, что образование щелочных гидросиликатов и последующая их дегидратация являются основными источниками газовыделения. Доказано, что введение глицерина ведет к образованию дополнительного объема газов, а использование фторидно-боратных добавок снижает температуру плавления. Обоснованы составы шихт

для различных видов сырья, обеспечивающие получение материалов с плотностью ниже 250 кг/м^3 при температуре не выше $850 \text{ }^\circ\text{C}$.

Шестая глава обобщает полученные данные в виде совокупности эмпирических моделей, описывающих ключевые стадии формирования пористой структуры для системы «стеклопорошок – жидкое стекло – глицерин» и для вспенивания по гидратному механизму. Проведена верификация модельных представлений, подтвердившая их предсказательную способность. Завершает главу описание универсальной трехкомпонентной композиции «флюс – порообразователь – активатор», адаптация которой позволяет целенаправленно регулировать плотность, пористость и прочностные характеристики конечного продукта в широком диапазоне.

Заключение содержит научные и практические результаты диссертационного исследования в виде выводов и рекомендаций, сформулированы перспективы дальнейшей разработки темы, оно соответствует содержанию и основным положениям диссертации

Автореферат соответствует содержанию и основным положениям диссертации.

Апробация результатов диссертационной работы. Полученные результаты прошли хорошую апробацию на целом ряде научных российских и международных конференций и полно отражены в публикациях по теме диссертации: опубликовано 38 научных трудов, из них 19 статей в журналах перечня ВАК, 23 в изданиях, индексируемых в международных базах данных, получено пять патентов РФ на изобретение и одно свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Диссертация работа Б.М. Гольцмана производит очень хорошее впечатление. Материал изложен в логической последовательности, формулировки и выводы соответствуют содержанию диссертации.

Особо следует отметить подробный анализ научно-технической литературы с заключением в виде структурно-логической схемы исследований (по существу

– это дерево целей), тщательную проработку темы, хорошее структурирование материала, в т. ч., его обобщение в виде таблиц, схем и рисунков.

Не могу не отметить знание и цитирование диссертантом основополагающих работ по теме диссертации отечественных исследователей, в т. ч. ученых из Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова (О.В. Мазурина, Швайко-Швайковской и др.).

Тем не менее, по диссертации возник ряд вопросов и замечаний:

1. Автор в качестве компонента флюсующей смеси предлагает использовать фторид натрия. Однако известно, что NaF при термообработке взаимодействует с SiO₂ и влагой, в результате чего образуется фторсилан SiF₄ а затем газообразный фтороводород HF. Данный газ относится к 1 классу опасности (чрезвычайно опасные вещества) в воздухе рабочей зоны и ко 2 классу опасности (высокоопасные вещества) в атмосферном воздухе. Неясно, каким образом предполагается устранить его воздействие.

2. Учитывая многообразие сырьевых материалов, использованных в работе, в автореферате хотя бы в краткой форме следовало привести химический состав и другие важные характеристики основного сырья.

3. Следовало уделить больше внимания другим важным физико-механическим свойствам синтезируемых материалов (прочность, теплопроводность, водопоглощение), а не только их плотности. Также недостаточно раскрыты данные о параметрах пористой структуры, в том числе о соотношении пор различного диаметра и о среднем размере пор.

4. В представленной модели взаимодействия «жидкое стекло – глицерин» (рис. 3.10) автор не учитывает возможное взаимодействие глицерина с жидким стеклом, о котором он упоминает в тексте, но которым, видимо, пренебрег при изображении модели.

5. Диссертация написана хорошим научным языком, грамотно, но встречаются отдельные не совсем неудачные фразы, например: «...SO₂,

обладающий более низкой теплопроводностью, чем CO_2 , но требующий более тщательного контроля производства из-за своей *вредности*» (с. 28); Эти реакции будут связаны с увеличением *веса* и потерей *массы* образцов соответственно (с. 34).

6. Автору свойственна чрезмерная краткость подрисуночных надписей, поэтому в ряде случаев информация, представленная на рисунке, становится понятной только при прочтении текста. Например, много однотипных подрисуночных подписей: «Внутренняя структура образцов», «Результаты микроскопического анализа» и другие подобные, которые используются для разных образцов без их расшифровки. На рис. 3.23 нет информации о цифрах, приведенных на рисунке, а на рис. 6.17 отсутствует описание осей.

Высказанные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы и не затрагивают основных положений и выводов.

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 научных и образовательных организациях, а также на предприятиях по производству строительных материалов.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности и 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), 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 химических наук по специальности 05.17.11 –
Технология силикатных и тугоплавких неметаллических
материалов), профессор,
главный научный сотрудник лаборатории неорганического синтеза
филиала Федерального государственного
бюджетного учреждения «Петербургский институт
ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт» –
Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова»



Шилова Ольга Алексеевна

«25» мая 2026 г.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова» (филиал НИЦ «Курчатовский институт – ПИЯФ – ИХС)

Адрес: 199034, Санкт-Петербург, наб. Адм. Макарова, д. 2.

Телефон: +7 (812) 325-21-13,

e-mail: olgashilova@bk.ru, **сайт:** <https://iscras.ru>

Подпись Шиловой Ольги Алексеевны ЗАВЕРЯЮ

И.о. директора филиала

НИЦ «Курчатовский институт – ПИЯФ – ИХС» А.В. Здравков

