



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Донской государственный  
технический университет»  
(ДГТУ)

344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1  
Приемная ректора т. 8(863) 273-85-25  
Общий отдел т. 8(863) 273-85-11  
Факс т. 8(863) 232-79-53

E-mail: [reception@donstu.ru](mailto:reception@donstu.ru)

ОКПО 02069102 ОГРН 1026103727847

ИНН/КПП 6165033136/616501001

21.05.2026 № 08-19-264  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научно-исследовательской  
работе и инновационной деятельности,  
доктор экономических наук, доцент

  
  
И.Н. Воронко  
21 мая 2026 г.

Отзыв ведущей организации

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Донской государственный технический университет»  
на диссертационную работу **Гольцмана Бориса Михайловича** на тему:  
**«Научные основы ресурсосберегающей технологии термически вспененных  
алюмосиликатных материалов»**, представленную на соискание ученой  
степени доктора технических наук по специальности **2.6.14. «Технология  
силикатных и тугоплавких неметаллических материалов»**

### 1. Актуальность темы исследования.

Диссертация Гольцмана Б.М. «Научные основы ресурсосберегающей технологии термически вспененных алюмосиликатных материалов» представляет собой исследование, посвященное разработке научных основ синтеза термически вспененных алюмосиликатных материалов и изделий на основе спектра природного и техногенного сырья. Такие материалы обладают уникальным комплексом свойств. Помимо отличных теплоизоляционных характеристик, они являются совершенно негорючими, весьма долговечными, стойкими к химическим и биологическим воздействиям и т.д. Исследования в этой области являются перспективными в нашей стране и за рубежом.

Для достижения данной цели соискатель предлагает использовать

разработанную трехкомпонентную смесь «плавень (флюс) – вспениватель (порообразователь) – активатор», способную в различных соотношениях обеспечить поризацию широкого спектра алюмосиликатного сырья, включая и техногенные (отходы стекла, золошлаки ТЭС), и природные (диатомит, опока) материалы. Синтезированные пористые материалы достигают плотности менее 200 кг/м<sup>3</sup> и среднего размера пор 400-800 мкм, что характеризует их как высокоэффективные теплоизоляционные материалы.

Таким образом, работа имеет большое фундаментальное и научно-практическое значение и вносит значительный вклад в развитие технологии пористых теплоизоляционных материалов, предлагая инновационные решения для строительной индустрии, а именно, для производства теплоизоляционных материалов.

## **2. Структура и содержание работы.**

**Структурно** диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка используемых источников, включающего 312 наименований и приложений. Материал изложен на 376 страницах машинописного текста и содержит 53 таблицы, 114 рисунков и 2 приложения.

**Во введении** обоснована актуальность и степень разработанности темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость результатов работы, представлены методология и методы исследования в данной области.

**Первая глава** посвящена обзору литературных данных, в которых проведен анализ современных методов вспенивания силикатных материалов, описаны физико-химические процессы, протекающие при термической обработке шихт на основе различных видов силикатного сырья, а также созданы сводные таблицы, описывающие параметры синтеза вспененных материалов и их свойства.

**Во второй главе** приведена методология исследований, описаны основные характеристики используемых сырьевых материалов, а также технологические этапы синтеза вспененных алюмосиликатных материалов. Описаны использованные методы исследования: рентгенофазовый анализ, оптическая и электронная микроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия, инфракрасная спектроскопия, рамановская спектроскопия и др.

**В третьей главе** исследованы процессы получения пеностекла с использованием комплексной порообразующей смеси, состоящей из жидкого стекла и глицерина. Изучена динамика их взаимодействия при термической обработке, выявлены стадии испарения, пиролиза глицерина с образованием углеродной нанофазы, а также механизмы вспенивания и стабилизации пены. Установлено, что жидкое стекло препятствует преждевременному выгоранию глицерина, а образующийся аморфный углерод участвует в окислительно-

восстановительных реакциях, обеспечивая дополнительное газовыделение. Предложена модель формирования пористой структуры, учитывающая капсуляцию газов и влияние вязкости расплава на этапы вспенивания.

**В четвертой главе** представлены результаты исследования процессов поризации силикатных смесей по технологии «самовспенивания» с использованием золошлаковых отходов и оценено влияние модифицирующих добавок-плавней (буры и фторида натрия) на структурообразование. Выявлено, что совместное введение фторидно-боратных смесей позволяет снизить температуру вспенивания и регулировать пористую структуру за счет деполимеризации алюмосиликатного каркаса. Установлен механизм самовспенивания, обусловленный взаимодействием остаточного углерода с оксидом железа, что сопровождается выделением газообразной фазы. Выбрано оптимальное соотношение плавней, обеспечивающее получение материала с равномерной пористой структурой и плотностью менее 400 кг/м<sup>3</sup>.

**Пятая глава** посвящена исследованию вспенивания шихт по гидратному методу с использованием различных видов алюмосиликатного сырья (диатомит, опока, кварцевый песок, полевопшпат, шлаковые отходы) и щелочного активатора. Установлено, что введение гидроксида натрия обеспечивает образование щелочных гидросиликатов, дегидратация которых при нагревании приводит к выделению паров воды и формированию пористой структуры. Показано, что дополнительное добавление глицерина и фторидно-боратных плавней интенсифицирует вспенивание, снижая плотность материалов ниже 200 кг/м<sup>3</sup>. Проведен анализ трёхкомпонентной диаграммы состояния  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  и обоснован выбор составов и температурно-временных режимов термообработки для различных типов сырья.

**В шестой главе** разработаны и обобщены модели порообразования при термической обработке алюмосиликатного сырья с использованием предложенных порообразующих смесей. Создана модель взаимодействия компонентов «стеклопорошок – жидкое стекло – глицерин», описывающая этапы формирования углеродной фазы, газовыделения и структурообразования. Проведена проверка эффективности широкого спектра органических соединений в качестве порообразователей, а также исследованы особенности вспенивания фосфатных стекломатриц по одно- и двухстадийной технологиям. Сформулирована единая модель влияния фторидно-боратных флюсующих смесей на тонкую и грубую структуру материалов и предложена универсальная трехкомпонентная смесь «плавень – вспениватель – активатор», позволяющая получать вспененные материалы на основе различных видов природного и техногенного алюмосиликатного сырья.

**Заключение диссертации** систематизирует ключевые научные положения и

обобщает полученные результаты. Оно формулирует четкие выводы относительно перспектив дальнейшего исследования рассматриваемых процессов и разработок. Рекомендации автора отражают современное состояние вопроса и указывают направления дальнейших научных изысканий. Заключение характеризует глубину теоретического анализа, полноту охвата тематики и адекватность выводов, сделанных на основании эмпирических данных. Формулировки носят объективный характер и подчеркивают важность дальнейших исследований в области технологии термически вспененных алюмосиликатных материалов. Таким образом, заключение свидетельствует о высоком уровне научной компетенции автора и значимости проделанной работы для современного состояния науки и практики.

**Автореферат** соответствует тексту диссертации, а публикации автора полно и всесторонне отражают содержание рецензируемой работы.

### **3. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.**

Достоверность результатов работы обеспечена применением аттестованных измерительных приборов и апробированных методик, использованием взаимодополняющих методов исследования, комплексным подходом к анализу и интерпретации экспериментальных данных и воспроизводимостью результатов. Важным аспектом является согласованность представленных данных с существующими научными публикациями, что дополнительно укрепляет доверие к выполненным исследованиям. Следовательно, указанные результаты соответствуют уровню современной науки.

### **4. Научная новизна.**

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

2. Впервые описаны процессы формирования и трансформации углеродной нанозапы при термической обработке пеностекольных шихт, включающие формирование аморфного углерода, его сплавление в размягченную стекломассу и их окислительно-восстановительного взаимодействия, обеспечивающее вспенивание стекломассы.

3. Выявлены этапы взаимодействия смеси «стеклопорошок – жидкое стекло – глицерин», установлены зоны активного газовыделения: испарение воды, испарение глицерина, образование  $\text{CO}_2$  за счет разложения глицерина, а также описаны структурные изменения при высокотемпературном обжиге.

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; спекание, плавление и вспенивание. Показана стабилизация пористой структуры и дополнительное повышение пористости при введении глицериновой добавки.

5. Впервые сформулированы закономерности воздействия фторидно-боратных флюсующих смесей на термически обусловленные превращения в алюмосиликатных материалах, включающие деполимеризующий эффект  $\text{Na}_2\text{O}$ , формирование низкотемпературного расплава за счёт  $\text{B}_2\text{O}_3$  и снижение вязкости за счёт  $\text{NaF}$ . Доказана интенсификацию спекания, плавления и вспенивания при совместном введении смесей « $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{NaF}$ ».

6. Показана возможность порообразования золошлаковых отходов ТЭС по механизму «самовспенивания» за счёт снижения вязкости смеси при введении плавней, а также газообразования при взаимодействии оксидов железа с углеродом. Показан рост склонности к самовспениванию при повышении содержания аморфной фазы в золошлаковом отходе.

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

#### **5. Теоретическая значимость:**

– впервые детально описаны механизмы термического разложения глицерина в составе пеностекольных шихт, включая образование углеродной нанофазы и её взаимодействие с компонентами стекла;

– разработаны модели, объясняющие роль гидратного и углеродного механизмов газовыделения, а также их синергетический эффект при совместном использовании;

– выявлены закономерности деполимеризации алюмосиликатной матрицы под действием щелочных и фторидно-боратных добавок, приводящие к снижению температуры плавления и вязкости расплава и обеспечивающие снижение температуры обработки и энергозатрат;

– описаны процессы «самовспенивания» золошлаковых отходов без введения дополнительного порообразователя, связанные с реакциями между оксидами железа и остаточным углеродом, что снижает себестоимость продукции, способствует решению проблемы утилизации промышленных отходов и снижению нагрузки на окружающую среду.

#### **6. Практическая значимость:**

– показана возможность применения спектра органических соединений

(сахароза, ванилин и др.) в качестве альтернативы глицерину, что позволяет адаптировать технологию под доступное сырьё;

– предложена инновационная трехкомпонентная смесь «плавень – вспениватель – активатор», обеспечивающая в рамках единого производственного процесса возможность гибкого регулирования характеристик конечного продукта за счет варьирования технологических параметров термообработки;

– разработаны рекомендации по подбору компонентного состава смеси для получения материалов с заданной плотностью в диапазоне 150-550 кг/м<sup>3</sup>, прочностью в диапазоне 1-5 МПа и средним размером пор 400 мкм с учетом химического состава основного алюмосиликатного сырья (содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 15 %, наличие остаточного углерода, SO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);

– разработана научно обоснованная технология производства пористых алюмосиликатных материалов, отличающаяся меньшими затратами на подготовку шихты за счёт использования жидких порообразователей и меньшими затратами на вспенивание за счет использования смесей плавней.

## **7. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки.**

Исследование вносит значительный вклад в развитие технологии термически вспененных алюмосиликатных материалов, предлагая научно обоснованные подходы к ресурсосбережению за счёт описанных механизмов взаимодействия компонентов порообразующих смесей, позволяющих регулировать параметры пористой структуры, и фторидно-боратных флюсующих смесей, позволяющих снизить температуру вспенивания и расширить сырьевую базу за счет использования техногенных отходов. Созданные эмпирические модели порообразования и структурообразования закладывают основу для проектирования материалов с заданными свойствами.

В ходе выполнения диссертационной работы разработаны научные основы управления структурой и свойствами термически вспененных алюмосиликатных материалов на основе детального исследования физико-химических закономерностей взаимодействия компонентов порообразующих смесей, закономерностей деполимеризации алюмосиликатной матрицы под действием щелочных и фторидно-боратных добавок, а также особенностей процессов «самовспенивания» золошлаковых отходов. Разработанная технология получения термически вспененных материалов с использованием трехкомпонентной смеси «плавень – вспениватель – активатор» позволяет гибко регулировать структуру и свойства конечного продукта.

Диссертация Гольцмана Бориса Михайловича имеет большое значение для строительной индустрии и производства теплоизоляционных материалов, т.к. позволяют импортозаместить дорогостоящие и недолговечные утеплители

за счет производства экологически безопасного, негорючего и долговечного материала. Использование техногенных отходов снижает себестоимость продукции, решает проблемы утилизации промышленных отходов и способствует развитию «зеленой экономики» и циклического производства.

Дальнейшие исследования в этом направлении могут привести к расширению базы основного сырья и добавок, оптимизации составов и режимов синтеза, а также к цифровизации процессов, включая создание компьютерных моделей вспенивания и проектирование материалов с заданными характеристиками без проведения масштабных экспериментальных серий.

## **8. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Предложенные в работе решения могут быть использованы на предприятиях строительной индустрии для производства гранулированных и блочных теплоизоляционных материалов, а также на предприятиях теплоэнергетики (ТЭС) для утилизации накопленных отходов с получением востребованной теплоизоляционной продукции непосредственно на месте по технологии «самовспенивания».

Экспериментальные результаты представляют интерес для специалистов в области технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, используемых в строительстве, и могут быть рекомендованы к использованию в организациях и научных центрах, занимающихся междисциплинарными исследованиями в области строительного материаловедения. Материалы диссертации могут быть использованы для учебных курсов при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов по направлениям «Химическая технология», «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов», «Техносферная безопасность» и «Строительство» в таких высших учебных заведениях, как РХТУ им. Д.И. Менделеева, БГТУ им. В.Г. Шухова, НИ ТПУ, ДГТУ и др. Разработанные модели и методики могут быть внедрены в курсы лекций и лабораторные практикумы для изучения физико-химических процессов высокотемпературного синтеза пористых материалов. Полученные результаты могут служить основой для выполнения курсовых и выпускных квалификационных работ, а также для проведения научных исследований в рамках государственных заданий и грантов (например, проектов РНФ), что уже успешно реализуется в Южно-Российском государственном политехническом университете (НПИ) имени М.И. Платова.

## **9. Замечания и рекомендации**

1. Автор в названии работы и далее в обосновании актуальности, цели и задач исследований и т.д., применяет общие термины «алюмосиликатные материалы»

и «алюмосиликатное сырьё». Однако алюмосиликатные материалы – это обширная группа неорганических соединений, основу которых составляют оксид алюминия и оксид кремния. Они образуют структурную основу большинства горных пород (глины, полевые шпаты, слюды и др.), являются основой различных изделий промышленности и побочных продуктов производства в различных отраслях промышленности. Хотелось бы, чтобы автор сразу во введении обозначил, что он конкретно имеет в виду под алюмосиликатными материалами в своих исследованиях.

2. В пункте 1 научной новизны автор не совсем чётко и понятно излагает установленные и обоснованные им результаты исследований. «Изменение процессов при высокотемпературном обжиге, включающее самовоспламенение и горение образцов при соотношении жидкое стекло:глицерин» ниже «70:30» позволило установить, что для предотвращения преждевременного выгорания глицерина необходимо соотношение «дегидратированное жидкое стекло:глицерин» выше «1:1». Понять, что именно хотел сказать автор, можно только после ознакомления с диссертацией.

3. В разделе диссертации 2.1 «Характеристика сырьевых материалов и методика синтеза» автор приводит только ГОСТы на используемые им материалы и конкретный химический состав. Автору следовало бы дать более подробную характеристику хотя бы основных используемых им материалов (стекло, золошлаковые отходы, песок кварцевый), так как они могут существенно отличаться по химическому, минеральному и зерновому составу, что безусловно будет влиять на процесс вспучивания (вспенивания) при обжиге.

4. В главе 3 достаточно подробно приводятся результаты по исследованиям процессов получения пеностекла, в том числе модели взаимодействия в составах «жидкое стекло — глицерин» и «стеклопорошок – жидкое стекло – глицерин». Изучается влияние различных факторов (размер частиц стекла, время смешивания, влияния пленки порообразователя и др.) на структуру полученного материала. При этом автор выборочно приводит данные только по плотности полученного материала и не приводит данные о других физико-технических свойствах (прочность, водопоглощение, теплопроводность, коэффициент размягчения и т.д.), которые в конечном счёте и определяют практическую ценность и области применения полученного материала.

5. Вызывает сомнение и обоснованность выбора для получения пеностекла некоторых соединений, выполняющих роль плавней с учётом технико-экономических и экологических факторов, в частности, фторидов. Добавка данных материалов-плавней в количестве 10 % не позволит получать материал с приемлемой стоимостью.

6. В разделе диссертации 4.2 «Разработка составов и синтез образцов с применением выбранных материалов-плавней» и таблице 4.2 автор приводит данные по плотности и структуре образцов на основе различных видов силикатного

сырья: диатомита, опоки, кварцевого песка, шлака ТЭС, полевых шпатов. Данные породы, минералы и шлаки ТЭС могут иметь весьма разнообразный состав и физико-технические свойства и, соответственно, по-разному влиять на процессы вспучивания (вспенивания) при обжиге. Автору следовало бы привести более подробные данные о составе и свойствах данных материалов.

7. В выводах по разделу 5.4 «Анализ возможности расширения сырьевой базы для синтеза пеностекла на основе разработанной вспенивающей смеси» (стр. 259) автор указывает, что «В склонности силикатного сырья к плавлению весьма важную роль играет количество оксида алюминия  $Al_2O_3$ . При повышении его содержания интенсивность плавления снижается» и далее «Влияние  $Al_2O_3$  возможно нивелировать введением оксидов, снижающих температуру плавления ...». Автору следовало бы более чётко выражать свои мысли, так как оксид алюминия вводился в составы сырьевых смесей в виде каких-либо пород или минералов, а не в чистом виде и, соответственно, влиять на вспучивание (вспенивание) он может по-разному.

8. В главе 6 диссертации в разделе 6.8.3 автор приводит описание результирующей технологии получения пеностекольных материалов. Автору следовало бы разработать более детальную технологическую схему производства с указанием конкретного технологического оборудования. Это придало бы более значимую практическую ценность работы. Также не совсем понятно, какому нормативному документу будет соответствовать разработанный автор материал.

## **10. Заключение**

Диссертационная работа Гольцмана Б.М. является завершённым, цельным научным исследованием, выполненном на высоком теоретическом и экспериментальном уровне. Диссертация написана логично, хорошим литературным языком и содержит всю необходимую информацию для понимания смысла работы и оценки её значимости. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, опубликованы в 78 научных работах, из них 19 в рецензируемых научных изданиях (из перечней Минобрнауки России); 23 в изданиях, индексируемых в международных базах данных, 5 патентах РФ на изобретение и 1 свидетельстве о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Диссертационная работа **Гольцмана Бориса Михайловича** выполнена в рамках перспективного научного направления создания новых энергоэффективных строительных материалов. Результаты исследований, проведённых диссертантом, имеют важное фундаментальное и научно-практическое значение, так как позволяют создавать материалы с заданными свойствами, перспективные для производства долговечных и надёжных изоляционных материалов.

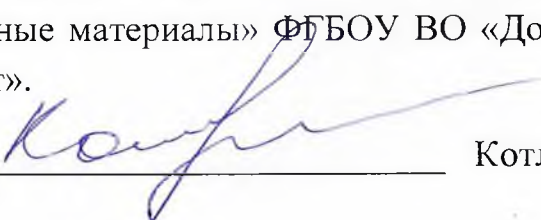
Представленная диссертация **«Научные основы ресурсосберегающей**

**технологии термически вспененных алюмосиликатных материалов»** является научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические, экономические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны и повышение ее обороноспособности, а именно, созданы научные основы синтеза термически вспененных алюмосиликатных материалов.

Диссертационная работа соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 25.01.2024), с учётом соответствия паспорта специальности, а её автор – **Гольцман Борис Михайлович** – **заслуживает присуждения** учёной степени **доктора технических наук** по специальности 2.6.14. «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов».

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждён и одобрен на расширенном заседании кафедры «Строительные материалы» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», протокол № 10 от 21 мая 2026 г. На заседании присутствовало 16 человек. В голосовании приняло участие 16 человек: за – 16, против – нет, воздержались – нет.

Отзыв составил доктор технических наук, профессор (специальность 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия»), заведующий кафедрой «Строительные материалы» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет».

  
\_\_\_\_\_ Котляр Владимир Дмитриевич

#### **Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

**Адрес:** 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

**Телефон:** +7 (863) 273-85-25

**E-mail:** reception@donstu.ru

**Сайт:** <http://donstu.ru>

Я, Котляр Владимир Дмитриевич, заведующий кафедрой «Строительные материалы» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», доктор технических наук, профессор, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Д.т.н., профессор

Котляр Владимир Дмитриевич

Подпись и данные Котляра Владимира Дмитриевича подтверждаю.

Учёный секретарь  
Учёного совета



Анисимов Владимир Николаевич