

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора

**Яценко Елены Альфредовны**

на диссертационную работу Бондаренко Марины Алексеевны  
на тему «Ресурсо- и энергосберегающая технология облицовочных материалов  
на основе стеклобоя», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.6.14 Технология силикатных и  
тугоплавких неметаллических материалов

**Актуальность темы исследования.** Реализация национального проекта «Экономика замкнутого цикла» предусматривает проведение исследований в целях утилизации техногенных отходов, разработки технологий их переработки и обеспечение ресурсоэффективности. Национальный проект «Экология» также направлен на решение стратегических задач экологического развития России. В этой связи сбор и переработка стеклянных бытовых отходов, значительная часть которых представлена цветной и бесцветной стеклотарой, является важным аспектом в реализации вышеприведенных национальных проектов.

Следует отметить, что сбор и подготовка для переработки СБО рядом предприятий и организаций РФ не решает всей полноты проблемы. Ежегодно образуется около 1,5 млн. т. стеклобоя в виде различных видов стеклотары и только 10% используется в различных отраслях промышленности. Стеклобой является ценным сырьевым материалом, в связи с чем распоряжением Правительства РФ №1589-Р от 25.07.2017 г. его захоронение на территории РФ запрещено.

Трудности использования стеклобоя на основе стеклотары как для стекольной промышленности, так и строительной индустрии заключаются, во-первых, различием химического состава стекол, во-вторых различными цветовыми характеристиками стеклотары, в-третьих – в технологических и организационных сложностях при создании дополнительных линий по классификации стеклобоя, его очистке от различных примесей и использовании дополнительного дробильно-помольного оборудования.

Однако, использование стеклобоя в производстве облицовочных материалов в конечном итоге позволит решить широкий круг задач в области ресурсо- и энергосбережения.

Работа направлена на реализацию ряда национальных проектов, выполнена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова и является весьма актуальной.

**Структура и содержание работы.** Для отзыва предоставлена диссертационная работа, выполненная на 190 страницах машинописного текста, которая включает введение, 5 глав, заключение, список литературы из 249 источников, 13 приложений, 53 рисунков и 36 таблиц, а также автореферат объемом 20 страниц.

Диссертация изложена технически грамотным языком, весьма содержательна, обладает гармоническим единством и несомненно свидетельствует о личном вкладе в науку. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями и нормативными положениями, предъявляемыми к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Введение традиционно включает актуальность выбранной темы диссертационной работы, степень разработанности, цель и задачи исследования, сформулирована научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость. Приведены методология работы и методы исследований, степень достоверности результатов исследований, апробация и внедрение результатов исследований, личный вклад автора, структура и объем работы.

В первой главе на основе системного анализа опубликованных в открытой печати многочисленных исследований отечественных и зарубежных авторов изложены вопросы, посвященные разработке технологий с использованием стекольного боя для производства силикатных и композиционных материалов, в том числе облицовочных, теплоизоляционных, декоративных и др. Приведены современные представления в области разрушения стекол щелочами, аспекты использования гидроксидов щелочных металлов в стекольной промышленности, в том числе и модифицирования кремнийсодержащих материалов для подготовки стекольных шихт. Отмечена роль механоактивации в технологических процессах. Приведен опыт использования стеклобоя в вяжущих композициях. Рассмотрены аспекты энергосберегающих технологий плазмохимического модифицирования силикатных материалов.

Во второй главе рассмотрены используемые в работе методики исследований, а также приводится характеристика объектов исследований.

В третьей главе приведены сведения в области разработки рабочей гипотезы создания облицовочного материала на основе механоактивированного стеклобоя, модифицированного щелочами. Разработана ресурсо- и энергосберегающая технология получения облицовочного материала, исследована его макро- и микроструктура, а также фазовый состав. Предложен механизм формирования структуры материала. Теоретический и практический интерес представляют результаты по огневой полировке лицевой поверхности облицовочного материала плазменной струей.

В четвертой главе соискателем разработана ресурсо- и энергосберегающая технология облицовочного материала на основе механоактивированного стеклобоя в составе композиционного вяжущего. Показано, что при совместном помоле стеклобоя в количестве 30-50 мас. % и портландцемента композиционное вяжущее обладает высокими прочностными показателями. Получены новые научные сведения и выявлены особенности влияния тонкодисперсного порошка стекла на процессы дегидратации облицовочного материала и его фазовый состав. На основе многочисленных экспериментальных исследований получены выражения, описывающие влияние скорости нагрева на эндо- и экзотермические

эффекты процессов дегидратации облицовочного материала с тонкодисперсным стеклобоям.

В пятой главе соискателем разработана и запатентована технология облицовочного материала на основе стеклобоя, отходов обогащения железистых кварцитов КМА и жидкого стекла. Установлены закономерности образования гематита и гиперстена из перенасыщенного оксидами железа расплава. Исследован фазовый состав, микроструктура и эксплуатационные показатели облицовочного материала.

Заключение диссертационной работы включает итоги и результаты выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейших исследований.

**Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций.** Научные положения, выводы и рекомендации сформулированы соискателем на основании полученных результатов исследований с использованием современных методов и методик, не противоречат результатам исследований отечественных и зарубежных авторов, а также согласуются с имеющимися в научной литературе сведениями в области модифицирования силикатных материалов щелочами, их плазмохимическому модифицированию и другим аспектам.

**Научная новизна** диссертационной работы Бондаренко М.А. заключается в следующем:

Соискателем разработаны научно-технологические решения получения облицовочных материалов на основе механоактивированного стеклобоя, модифицированного гидроксидами щелочных металлов, а также в составе композиционного вяжущего и с отходами обогащения железистых кварцитов КМА.

Разработана технология облицовочного материала на основе механоактивированного стеклобоя в количестве 77,5-80% модифицированного NaOH и KOH в количестве 3,0-3,5% при совместном усреднении и последующей тепловлажностной обработке при 85°C, обеспечивающая получение конечного продукта с высокими эксплуатационными показателями.

Установлены закономерности структурообразования облицовочного материала на основе механоактивированного стеклобоя модифицированного KOH, заключающиеся в образовании в межпоровом пространстве столбчатых и игольчатых кристаллов первого типа размером 20-150 мкм и второго типа размером 2-5 мкм, растущие с поверхности механоактивированных частиц, что обеспечивает получение облицовочного материала с прочностью, на сжатие  $25,8 \pm 0,2$  МПа, плотностью 1835 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом размягчения 0,89.

Установлен характер влияния огневой полировки высококонцентрированными источниками энергии облицовочного материала на основе механоактивированного стеклобоя, модифицированного NaOH и KOH, заключающийся в образовании зон ликвации, обогащенных оксидом кремния, что обеспечивает его высокую долговечность за счет повышения твердости с 489

до 539 HV, водостойкости с 4/98 до 3/98 гидролитического класса, кислотостойкости с 98,2% до 98,8% и щелочестойкости с 97,1% до 97,5% огнестойкой поверхности.

Установлены закономерности структурообразования облицовочного материала на основе механоактивированного стеклобоя в составе композиционного вяжущего, заключающиеся в образовании цеолитоподобных натриево-кальциевых гидроалюмосиликатов типа гмеленита состава  $(\text{Na}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и томсонита  $\text{NaCaAl}_2\text{Si}_5\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Установлены закономерности структурообразования и фазового состава облицовочного материала на основе стеклобоя, отходов обогащения железистых кварцитов КМА и жидкого стекла, заключающиеся в образовании при термической обработке пересыщенного оксидами железа расплава, с последующей кристаллизацией из расплава гематита ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) и гиперстена ( $\text{MgSiO}_3 \cdot \text{FeSiO}_3$ ).

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Автором предложен механизм структурообразования облицовочного материала на основе механоактивированного стеклобоя, модифицированного щелочами, заключающийся в том, что диффузионно-контролируемый процесс взаимодействия щелочей с механоактивированными частицами стекла смещается в кинетическую область в условиях интенсивного перемешивания и повышенных температур с образованием зародышей кристаллизации и последующим ростом силикатов натрия и калия состава:  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Na}_6\text{Si}_{40}\text{O}_{83}$ ,  $\text{Na}_4\text{SiO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$ ,  $\text{K}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ,  $\text{K}_4\text{SiO}_4$ ,  $\text{K}_4\text{Si}_8\text{O}_{18}$ ,  $\text{K}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ .

Сформулированы теоретические представления о принципах разработки технологии облицовочных материалов на основе механоактивированного стекла, модифицированного гидроксидами KOH и NaOH.

Дополнены теоретические представления о процессах структуро- и фазообразования облицовочного материала на основе механоактивированного боя стекла, модифицированного KOH и NaOH.

Разработана и запатентована ресурсо- и энергосберегающая технология и составы облицовочных материалов на основе механоактивированного тонкодисперсного стекла, модифицированного KOH и NaOH.

Разработана ресурсо- и энергосберегающая технология облицовочного материала на основе механоактивированного стекла в составе композиционного вяжущего. Разработанные составы позволяют заменить часть дорогостоящего цемента на стеклобой.

Разработаны и запатентованы составы на основе СБО, отходов обогащения железистых кварцитов КМА и жидкого стекла. Показано, что жидкое стекло способствует интенсивному образованию стеклофазы, уплотнению материала и существенно снижает температуру термообработки.

Разработанные технологии рекомендованы к широкому промышленному внедрению на действующих технологических линиях с использованием только отечественного оборудования.

**Достоверность** представленных результатов не вызывает сомнений и обеспечена использованием современного высокоточного сертифицированного оборудования и поверенного лабораторного оборудования, достаточной воспроизводимостью экспериментальных данных; промышленной апробацией и её положительными результатами, не противоречащими общепризнанными научными фактами и результатами других научных школ и коллективов.

Основные положения работы изложены в 24 научных публикациях, в том числе: 9 – в изданиях, входящих в перечни рецензируемых научных изданий и международных реферативных баз данных, рекомендованных ВАК РФ; 2 – в иных зарубежных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science. Получено 10 патентов РФ и 8 свидетельств о регистрации ноу-хау, что свидетельствует о принципиальной новизне разработанных технологических решений.

Оценивая диссертацию, следует отметить высокий уровень выполнения работы, комплексный подход к решению поставленных задач и большой объем новых научных результатов.

Публикации автора и автореферат в полной мере отражают содержание диссертации, соответствующей специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

В ходе прочтения материалов диссертации Бондаренко М.А. возникли следующие **вопросы и замечания**:

1. В выводах диссертации и автореферата отмечено, что разработанная технология облицовочных материалов приводит к снижению 1 м<sup>2</sup> жилья, но расчеты по формированию себестоимости разработанных облицовочных материалов и их сравнение с аналогичными применяемыми облицовочными материалами не приведены ни в автореферате, ни в диссертационной работе, хотя такие расчеты, несомненно, более наглядно бы продемонстрировали практическую значимость работы. Очень краткие расчеты, приведенные в п.5.2 диссертации, построены только на учете стоимости материалов, но не учитывают ни трудозатраты, ни энергозатраты на подготовку сырья, ни энергозатраты на огненную полировку и другие, вследствие чего являются крайне приблизительными.

2. Из текста диссертации и автореферата, а также прилагаемых актов неясна конкретная область применения разработанных облицовочных материалов, а также неясно, исследовались ли автором работы эстетико-потребительские свойства разработанных материалов, такие как цветовая палитра, цветостойкость, стойкость к истиранию и другие, так как данные по таким исследованиям в работе не приведены.

3. Автором диссертационной работы проведены исследования многих технологических свойств разработанных материалов - прочности на сжатие, изгиб, плотности и т.д., но крайне желательно было бы привести значения соответствующих ГОСТОВ на подобные облицовочные материалы с тем, чтобы

было понятно, все ли значения показателей соответствуют ГОСТам или какие-то параметры необходимо еще совершенствовать.

5. Желательно было бы привести оценку экономической целесообразности использования для модифицирования механоактивированного стеклобоя NaOH и KOH, а также выявить оптимальный из них по всем определенным критериям эффективности, в том числе и экономическим.

6. В работе при разработке технологии облицовочного материала на основе механоактивированного стеклобоя, модифицированного щелочами определялся как один из важнейших эксплуатационных показателей, коэффициент размягчения, характеризующий степень снижения прочности материала в водонасыщенном состоянии. Однако в работе не показано значение водопоглощения облицовочного материала.

7. Результаты разрушения стекол щелочами подробно описаны многими исследованиями, но многие факты щелочного воздействия на силикатные стекла пока не нашли должного объяснения, например, содовые парадоксы первого и второго ряда. В этой связи возникает вопрос обоснования предпочтительного выбора автором KOH при модифицировании дисперсного стекла, а не NaOH, в ряде работ рекомендуемого в качестве наиболее эффективного.

8. В диссертационной работе в таблице 5.3 приведен состав отходов обогащения железистых кварцитов КМА с точностью до сотых долей процента, без каких-либо отклонений, в связи с чем возникает вопрос, учитывались ли в исследованиях колебания в составах отходов и каким образом.

9. По тексту диссертации имеются редакционные неточности, так на рис. 3.25, 3.26, 3.28 диссертации отсутствует масштаб микрофотографий, что затрудняет представление о размерах представленных на них объектах

Несмотря на указанные замечания диссертационная работа Бондаренко М.А. производит положительное впечатление и в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Диссертация Бондаренко Марины Алексеевны представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, заключающееся в создании ресурсо- и энергосберегающей технологии облицовочных материалов на основе стеклобоя, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний – химической технологии стекла, керамики и вяжущих материалов. Полученные в диссертации выводы и предполагаемые технические рекомендации обладают научной новизной, а также расширяют и дополняют теоретические представления в исследуемой области. Текст написан грамотным техническим языком, графический материал выполнен на высоком уровне.

В связи с вышеизложенным считаю, что диссертационная работа на тему «Ресурсо- и энергосберегающая технология облицовочных материалов на основе стеклобоя» представляет собой законченную научно-квалификационную работу

и полностью соответствует критериям (в т.ч. пп. 9, 10, 11, 13, 14) Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции с дополнениями и изменениями), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Бондаренко Марина Алексеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

**Официальный оппонент:**

Доктор технических наук по специальности  
05.17.11 – Технология силикатных и  
тугоплавких неметаллических материалов,  
профессор, заведующая кафедрой общей  
химии и технологии силикатов ФГБОУ ВО  
«Южно-Российский государственный  
политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова»



Яценко  
Елена Альфредовна

«13» декабря 2023 г.

Подпись Яценко Е.А. заверяю:  
Ученый секретарь Совета вуза



Холодкова  
Нина Николаевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Адрес университета: 346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГПУ (НПИ).

Официальный сайт в сети Интернет: [www.npi-tu.ru](http://www.npi-tu.ru)

Телефон: +79287639181

E-mail: [e\\_yatsenko@mail.ru](mailto:e_yatsenko@mail.ru)