

ОТЗЫВ

официального оппонента **Бондарева Бориса Александровича**
на диссертационную работу **Бодякова Александра Николаевича**
на тему: **«Технология стабилизации шлака для щебня оснований
автомобильных дорог»**,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Актуальность. Дефицит качественных минеральных материалов для строительной отрасли вызван рядом причин и обусловлен, прежде всего, ограничениями на добычу из-за соображений экологической безопасности. Возможность замены традиционного минерального сырья, такого как песок и щебень, другими продуктами затруднена, из-за отсутствия материалов, обладающих комплексом требуемых базовых свойств. В качестве альтернативных сырьевых ресурсов для дорожно-строительной отрасли рассматривают отходы различных производств. Однако, для обеспечения широкомасштабного применения некондиционного техногенного сырья требуется применение технологических решений, обеспечивающих придание отходам промышленности комплекс заданных свойств.

Решение задач, поставленных в работе Бодякова А.Н., позволяет снизить прессинг на окружающую среду и потребление природных минерально-сырьевых ресурсов, а также получить каменные материалы из металлургического шлакового расплава за счет кристаллохимической стабилизации высокотемпературных модификаций белита с использованием отходов различных производств путем введения стабилизирующего агента на стадии слива расплава. В связи с вышеизложенным работа Бодякова А.Н. является весьма актуальной.

Подтверждением актуальности данного направления служит поддержка исследования Бодякова А.Н. грантами Министерства науки и высшего образования РФ, Фонда содействия инновациям, Российского научного фонда, стипендии президента, публикация результатов исследований в рецензируемых рейтинговых журналах и представление на конференциях различного уровня, а также получение патента и ноу-хау.

Структура и содержание работы. Работа выполнена на 180 страницах текста, состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка из 175 наименований и 10 приложений, содержит 53 рисунка, 27 таблиц.

Диссертация написана технически грамотным языком, содержательна, обладает внутренним единством и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Качество оформления диссертации соответствует нормативным положениям и требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Во введении диссертационной работы сформулирована проблема и обоснована актуальность проводимых исследований, приведена краткая характеристика научной новизны и практической значимости работы, обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, приведены методология и методы диссертационного исследования, положения, выносимые на защиту, личный вклад соискателя, степень достоверности и апробация результатов, внедрение результатов исследования, публикации, объем и структура работы.

В главе 1 автором приводятся анализ рынка каменных материалов для дорожного строительства. Выполнен обзор способов переработки и утилизации отходов металлургической промышленности. Произведен анализ способов стабилизации самораспадающихся высокоосновных шлаков и определен наиболее эффективный способ стабилизации. Проанализированы возможные варианты кристаллохимической стабилизации. Определены наиболее важные составляющие, характеризующие эффективность стабилизаторов. Обосновано выбранное направление работы, позволяющее не только положительно влиять на физико-механические и эксплуатационные характеристики дорожных одежд, но и обеспечить экономичное расходование традиционных дорогостоящих минерально-сырьевых ресурсов (щебень, песок), широко используемых в дорожном строительстве.

В главе 2 содержится описание и обоснование материалов, принятых для исследования с характеристиками их особенностей и свойств, также указаны методы исследований принятых материалов, выбраны основные методы проведения экспериментальных работ, приведены результаты испытаний исходных материалов.

Для оценки исходных и полученных в результате стабилизации материалов использовалось современное, поверенное оборудование БГТУ им. В.Г.Шухова, стандартизированные, а также разработанные и апробированные методики исследований с вероятностью получения результатов не менее 95 %.

В главе 3 Представлен план проведения эксперимента, разработана методология исследования, в основе которой лежит комплексный анализ каменных материалов из металлургического шлака до и после стабилизации по схеме «состав (сырье) – структура (сырье, материал) – свойства (материал)», включает четыре этапа: анализ свойств исходного шлака и стабилизаторов; анализ свойств шлака, стабилизированного в лабораторных условиях; анализ свойств шлака, стабилизированного в промышленных условиях; технологические особенности получения и применения стабилизированного шлака. Предложенная декомпозиция в виде пошагового плана диссертационного исследования позволяет регулировать процесс исследования, устанавливать закономерности и выявлять механизмы процесса структурообразования шлака в результате стабилизации шлакового расплава в зависимости от условий стабилизации. Изучены физико-механические и физико-химические свойства исходного шлака, а также приведены структурные особенности проб металлургического шлака, полученного по различным технологиям охлаждения. Приведен состав и химические свойства стабилизаторов из отходов производства.

В главе 4 соискателем произведен анализ эффективности использования промышленных отходов в качестве стабилизирующих агентов для кристаллохимической стабилизации самораспадающегося металлургического шлака. Приводятся результаты исследования влияния состава различных стабилизаторов и их количества на свойства и структурообразование каменного материала в лабораторных условиях. Рассмотрены способы введения наиболее эффективного стабилизатора и предложен вариант его подготовки к использованию, заключающийся в гранулировании. Произведен анализ свойств шлака, полученного в результате масштабирования технологии стабилизации с применением гранулированной пыли ДСП в условиях реального производства. Доказана техническая эффективность применения пыли дуговых сталеплавильных печей в качестве стабилизатора. Проанализированы основные физико-механические свойства стабилизированного материала, а также описаны его структурные особенности в лабораторных и промышленных условиях.

В главе 5 предложена технологическая схема стабилизации шлака на основе существующей технологической линии, не требующая существенных изменений. Произведен расчет конструкций дорожных одежд с использованием материалов, разработанных в ходе проведения научных

исследований. Рассчитан возможный экономический эффект от применения новых строительных материалов.

Заключение диссертационной работы содержит итоги и результаты выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Научные положения, выводы и рекомендации сформулированы на основании полученных экспериментальных результатов с использованием обоснованных методов исследования, не противоречат результатам изысканий других авторов и согласуются с основными научными представлениями в области строительного материаловедения, дополняя и развивая общие принципы управления процессами структурообразования дорожно-строительных материалов.

Научная новизна диссертационной работы Бодякова А.Н. заключается в теоретическом обосновании и практическом подтверждении нового технологического подхода, направленного на создание прочного каменного материала для использования в дорожном строительстве из стабилизированного шлака. Основой этого подхода является процесс кристаллохимической стабилизации шлакового расплава с использованием дисперсных отходов электрометаллургического производства. Применение стабилизатора в виде гранулированной пыли от дуговых сталеплавильных печей в количестве 2–5 % в шлаковый расплав позволяет получить каменные материалы, которые подходят как для дорожного строительства, так и для строительной отрасли в целом. Шлаковый щебень обладает стабильной структурой, необходимыми физико-механическими характеристиками и низкой себестоимостью.

Разработан механизм формирования фаз и структур шлака в процессе кристаллохимической стабилизации шлакового расплава, обеспечивающий формирование материала с прочными межмолекулярными связями, обладающего стабильностью и улучшенными физико-механическими характеристиками. Устойчивость достигается благодаря присутствию стабилизирующих ионов в составе введенных компонентов, которые встраиваются в кристаллическую решётку минералов, образуя твёрдые растворы и снижая температуру полиморфных превращений. Это препятствует силикатному γ -распаду и закрепляет полиморфную структуру C_2S в высокотемпературных α - и β -модификациях.

Исследованы закономерности, связанные с воздействием состава, концентрации пыли дуговых сталеплавильных печей и метода ее введения на реологические характеристики шлакового расплава. Эти характеристики определяют условия гидродинамического взаимодействия компонентов в процессе кристаллохимической стабилизации металлургических шлаков.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в расширении теоретического основ процессов фазового и структурообразования, участвующих в формировании каменного материала, путем кристаллохимической стабилизации шлакового расплава пылью дуговых печей. Результаты исследования позволяют выявить закономерности влияния состава и концентрации стабилизаторов на свойства и структурные характеристики каменных материалов, полученных из стабилизированного шлака.

Соискателем установлено, что результате стабилизации шлак соответствует марке по прочности в водонасыщенном состоянии М1200, по морозостойкости F50, по истираемости ИП, устойчивостью структуры УС1. По совокупности физико-механических свойств полученного каменного материала его применять для устройства оснований и покрытий в конструкциях дорожных одежд.

Соискателем проанализирована существующая технологическая схема предприятия и предложена технология стабилизации непосредственно в цехе, включающая гранулирование пыли ДСП и введение в шлаковый расплав на стадии его слива. Кроме того, предложены альтернативные конструкции и произведен расчет дорожных одежд с применением полученного шлакового щебня.

В ходе работы разработан ряд нормативных документов, результаты используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство» и специалистов по направлению «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей».

Достоверность представленных результатов не вызывает сомнений. Она обеспечена: выполнением экспериментальных исследований на основании рационального выбора современного высокоточного сертифицированного и поверенного лабораторного оборудования, в том числе с учетом требований нормативной документации; достаточной воспроизводимостью экспериментальных данных; промышленной апробацией и ее

положительными результатами, не противоречащими общепризнанным научным фактам и результатам других научных коллективов.

Основные положения работы изложены в 18 публикациях, в том числе 3 – в журналах, входящих в перечни рецензируемых научных изданий и международных реферативных баз, рекомендованных ВАК РФ; 4 – в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus; получен 1 патент РФ на изобретения. Кроме того, на состав гранул и способ стабилизации зарегистрировано 4 ноу-хау. Оценивая диссертацию, следует отметить высокий уровень выполнения работы, комплексный подход к проведению исследований и большой объем новых научных результатов. Автореферат и публикации автора в полной мере отражают содержание диссертации, соответствующей специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

При ознакомлении с материалами диссертации Бодякова А.Н. возникли следующие *вопросы и замечания*.

1. В диссертационной работе не производилось математическое планирование эксперимента. Это позволило бы установить четкие границы рецептурно-технологических факторов эффективной стабилизации металлургического шлака.

2. Из текста диссертационной работы не ясно чем обоснован период введения стабилизатора в шлаковый расплав.

3. В работе произведен расчет конструкций дорожных одежд III технической категории, чем это обосновано и возможно ли использование щебня из стабилизированного шлака в конструкциях дорожных одежд более высоких категорий?

4. Целесообразно было бы провести сравнение технологической и экономической эффективности стабилизации с использованием пыли ДСП, например, с широко известными боратами.

5. С позиции масштабирования разработанной технологии кристаллохимической стабилизации непосредственно на производстве требует пояснения вопрос – как это сказывается на возврате металлизированной части.

Высказанные замечания и возникшие вопросы не влияют на общую положительную оценку диссертации Бодякова А.Н.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Бодякова Александра Николаевича представляет собой самостоятельно выполненную, завершённую научно-квалификационную

работу на актуальную тему, содержащую научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной, а также теоретической и практической значимостью. Диссертация написана грамотным техническим языком, материал изложен в логической последовательности.

В связи с вышеизложенным считаю, что диссертационная работа на тему «Технология стабилизации шлака для щебня оснований автомобильных дорог» соответствует критериям п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г., № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, **Бодяков Александр Николаевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук
(специальность 05.21.01 – «Технология и машины лесного хозяйства и лесозаготовок»; 05.21.05 – «Технология и оборудование деревообрабатывающих производств, древесиноведение»)
профессор, профессор кафедры
«Строительное материаловедение и дорожные технологии» ФГБОУ ВО
«Липецкий государственный
технический университет»



Бондарев Борис Александрович

«29» апреля 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет»,
398055, Россия, Липецкая область, г. Липецк, ул. Московская, д. 30,
тел. +7 (4742) 32-80-83, e-mail: sm@stu.lipetsk.ru



Подпись удостоверяю
Специалист ОК ЛГТУ

И. В. Мозушова