

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук  
Петропавловской Виктории Борисовны  
на диссертационную работу Левицкой Ксении Михайловны  
на тему: «Сульфатно-шлаковые вяжущие с использованием фосфоангидрита  
и закладочные смеси на их основе», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений.

Для отзыва предоставлены диссертация, изложенная на 193 страницах машинописного текста, которая включает 59 рисунков, 31 таблицы, список литературы из 170 наименований, 7 приложений, а также автореферат объемом 22 страницы. Качество оформления диссертации соответствует нормативным положениям и требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

**Актуальность диссертационной работы.** Фосфогипс является одним из крупнотоннажных отходов производства, проблема накопления которого характерна для многих стран мира. Так как фосфогипс в большей степени представлен дигидратом сульфата кальция, очень часто его рассматривают в качестве альтернативы природному гипсовому камню при производстве одно- и многокомпонентных вяжущих, в том числе и сульфатно-шлаковых вяжущих. Данный вид вяжущих на 95 % может состоять из отходов производства и его изготовление отличается значительно меньшими выбросами CO<sub>2</sub> по сравнению с портландцементом, что в полной мере отвечает общемировому курсу на рациональное природопользование.

В связи с чем работа Левицкой Ксении Михайловны, направленная на разработку рациональных составов сульфатно-шлаковых вяжущих и закладочных смесей на их основе с учетом генетически обусловленных структурно-морфологических и вещественных характеристик фосфогипсов и полученных из них фосфоангидритов является крайне актуальной.

Целью диссертационной работа Левицкой Ксении Михайловны является научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение сульфатно-шлаковых вяжущих с использованием фосфоангидрита и закладочных смесей на их основе.

Работа выполнена в рамках проекта, реализуемого на платформе НОЦ мирового уровня «Инновационные решения в АПК», г. Белгород; Государственного задания Минобрнауки РФ (FZW-2021-0017, FZWG-2024-0001).

## **Общая характеристика работы.**

Во **введении** автором обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана степень разработанности данной темы, определены цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, обозначены положения, выносимые на защиту, факторы, обеспечивающие достоверность полученных результатов, а также сведения об апробации и внедрении результатов исследований.

В **первой главе** комплексный анализ результатов научных исследований отечественных и зарубежных ученых по проблематике исследований. Подробно рассмотрены возможности утилизации фосфогипса – крупнотоннажного отхода образующегося при производстве ортофосфорной кислоты и удобрений в качестве сырья для производства одно- и многокомпонентных вяжущих в том числе сульфатно-шлаковых. Рассмотрены особенности структурообразования, свойств, достоинства и недостатки сульфатно-шлаковых вяжущих, сделаны выводы о перспективных направлениях дальнейшего исследования данного вида вяжущих.

Во **второй главе** представлен перечень методов исследований, примененных в работе, и свойства исходных сырьевых материалов.

В **третьей главе** представлены результаты комплексного исследования генетически обусловленных характеристик фосфогипсов, взятых из двух разных источников, которые позволили выявить существенные различия между ними. В частности, было установлено, что исследуемы фосфогипс различны по химическому составу, удельной площади поверхности, морфологии частиц и рН, что предопределяется различием в источнике фосфатной породы и технологических режимах используемых при производстве ортофосфорной кислоты.

Также показано, что генетически-обусловленные структурно-морфологические характеристики исходных фосфогипсов в совокупности с температурой обжига (600, 800 и 1000 °С) оказывает влияние на характеристики фосфоангидритовых вяжущих.

В **четвертой главе** с использованием метода математического планирования эксперимента проведены исследования влияния количества портландцемента, вид фосфогипса, температура получения фосфоангидрита и его содержание, на рН среды сульфатно-шлаковых вяжущих непосредственно после затворения, водопотребность, среднюю плотность и предел прочности при сжатии в возрасте 2, 7, 28 и 90 сут.

Выявленные соискателем закономерности в совокупности с исследованием микроструктуру сульфатно-шлаковых вяжущих позволили установить основные факторы влияющие на процессы структурообразования сульфатно-шлаковых вяжущих, а также то, что наиболее рациональным, с позиции соотношения энергетических затрат и достигаемых физико-механических свойств вяжущих,

является получение фосфоангидрита обжигом при температуре 800 °С, что обеспечивает уплотнение поверхности его частиц, необходимое для минимизации водопотребности, без существенного снижения активности и размолоспособности. Также соискателем установлено, что в случае использования фосфоангидрита с высокими показателями рН (11,9–12,4) возможно получение бесцементных сульфатно-шлаковых вяжущих.

На основе большого массива данных, а также с учетом необходимости достижения максимальных физико-механических характеристик конечных изделий соискателем были выбраны наиболее рациональные составы сульфатно-шлаковых вяжущих и определена их нормальная густота, сроки схватывания активность при твердении в нормальных условиях и на водяной бане при температуре 40 °С.

В пятой главе соискатель приводит состава и свойства закладочных смесей на основе трех наиболее рациональных составов сульфатно-шлаковых вяжущих. Представлена принципиальная технологическая схема производства сульфатно-шлаковых вяжущих с использованием фосфоангидрита и закладочных смесей на их основе.

Показано, что изготовление сульфатно-шлаковых вяжущих с использованием фосфоангидрита и закладочных смесей на их основе будет иметь существенный экономический и экологический эффекты.

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

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и научная новизна.**

Обоснованность полученных и диссертационной работе результатов обусловлена достаточно высоким уровнем аргументации принятых положений. Полученные результаты не противоречат общепризнанным фактам и согласуются с результатами, полученными отечественными и зарубежными авторами. Ряд экспериментальных исследований прошла апробацию в опытно-промышленных условиях.

**Научная новизна.** Обосновано и экспериментально подтверждено технологическое решение, обеспечивающее получение сульфатно-шлаковых вяжущих с использованием фосфоангидрита и закладочных смесей на его основе. Установлено, что наиболее рациональным, с позиции соотношения энергетических затрат и достигаемых физико-механических свойств СШВ, является получение ФАВ обжигом при температуре 800 °С, что обеспечивает уплотнение поверхности частиц ФАВ, необходимое для минимизации водопотребности, без существенного снижения активности и размолоспособности. При использовании 2-х частей кварцевого заполнителя разработанные СШВ позволяют получать закладочные смеси с прочностью

15–19 МПа при твердении в условиях повышенной влажности в температурном интервале 20–40 °С.

Предложена феноменологическая модель процессов структурообразования СШВ, ключевыми факторами которых являются рН ФАВ и соотношение компонентов в системе, определяющие преобладающие механизмы активации шлака, а также блокирующие факторы.

Установлено, что при отсутствии портландцемента в составе сульфатно-шлаковых вяжущих, изготовленных с использованием ФАВ с высоким рН (11,9–12,4), активация ДГШ обеспечивается преимущественно за счет сульфатного компонента, что существенно замедляет процессы структурообразования и вплоть до 28 сут предопределяет низкие физико-механические характеристики бесцементных составов по отношению к содержащим ПЦ. Однако более плавное течение процессов структурообразования в итоге способствует формированию плотной, малопроницаемой матрицы, состоящей из капсулированных наноразмерных CSH и этtringита с плотно интегрированными в неё непрореагировавшими зернами ДГШ, что обеспечивает достижение бесцементными СШВ к 90 сут прочности на сжатие более 50 МПа.

**Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена применением методически правильного подхода к проведению экспериментальных исследований, согласующихся с теоретическим обоснованием основных направлений работы. Полученные данные имеют высокую воспроизводимость и сходимость и не противоречат общепринятым данным и работам других авторов.

Все главы диссертации завершаются логическими выводами и рекомендациями, которые обобщены в разделе «Заключение». Автореферат диссертации полностью согласуется с текстом диссертации и отражает основное содержание работы, положения, выносимые на защиту, обоснование актуальности и значимости работы, цели и задачи исследования.

Основные положения работы изложены в 11 публикациях, в том числе: 3 статьи в российских журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ; 2 – в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus (Q1)/Web of Science(Q2).

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов исследований.**

Дополнены теоретические представления о влиянии генетически обусловленных характеристик фосфоангидритовых вяжущих и рецептурных параметров изготовления на процессы структурообразования и физико-механические характеристики СШВ и закладочных смесей на их основе.

Установлены закономерности влияния рецептурно-технологических факторов, а именно: количество портландцемента, вид ФГ, температура получения ФАВ и его содержание, на рН среды СШВ непосредственно после затворения, водопотребность, среднюю плотность и предел прочности при сжатии

в возрасте 2, 7, 28 и 90 сут, которые позволяют рационализировать состав СШВ и закладочных смесей на их основе с учетом минимальных энергетических и материальных затрат при достижении максимальных физико-механических характеристик конечных изделий.

Доказана возможность получения цементных СШВ с активностью 24–27 МПа и бесцементных СШВ с повышенным содержанием ФАВ (до 40 %), с активностью 33,5 МПа.

Разработаны составы закладочных смесей на основе сульфатно-шлаковых вяжущих с пределом прочности при сжатии 5–19 МПа. Предложена принципиальная технологическая схема получения СШВ с использованием в качестве сульфатного компонента фосфоангидрита и закладочных смесей на их основе.

### **Замечания и рекомендации по диссертации и автореферату.**

1. Целесообразно было бы рассмотреть возможность повышения прочности бесцементных сульфатно-шлаковых вяжущих, изготовленных с использованием фосфоангидрита (Балаково), за счет дополнительного введения в их состав в качестве компонента смеси извести.

2. В диссертационной работе (стр. 124, рисунок 4.7) соискатель приводит фотографии микроструктуры сульфатно-шлакового камня, на которых идентифицируются достаточно большие участки CSH геля. Хотелось бы узнать мнение соискателя о том, могут ли данные новообразования быть продуктами геополимеризации.

3. Соискатель отмечает, что одной из особенностей бесцементных сульфатно-шлаковых вяжущих является их медленное твердение. Было бы интересным рассмотреть возможность ускорения твердения с помощью различных добавок, в том числе полугидрата сульфата кальция, полученного из исходного фосфогипса или товарного гипса.

4. Вероятно, следовало бы дополнительно, провести исследования основных характеристик получаемого сульфатно-шлакового камня в более позднем возрасте (180 и 350 суток), это бы позволило выгодно показать все преимущества материала.

5. В работе есть ряд стилистических неточностей.

Замечания и рекомендации не являются критическими и не оказывают влияния на положительное впечатление о работе.

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

Диссертация Левицкой Ксении Михайловны представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой содержится научно-обоснованное технологическое решение, имеющее существенное значение для строительной отрасли. Полученные в диссертации выводы и предлагаемые 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.

Учитывая актуальность затронутых вопросов, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаю, что диссертационная работа на тему «Сульфатно-шлаковые вяжущие с использованием фосфоангидрита и закладочные смеси на их основе» соответствует критериям п. п. 9–11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции с дополнениями и изменениями), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Левицкая Ксения Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

**Официальный оппонент:**

Доктор технических наук по специальности  
2.6.17 (05.16.09) – «Материаловедение» (технические науки)),  
доцент, профессор кафедры  
«Производство строительных  
изделий и конструкций»,  
ФГБОУ ВО «ТвГТУ»



**Петропавловская  
Виктория Борисовна**

«05» 06 2025 г.

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



Петропавловская В.Б.

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»,  
170026, Тверская область, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22.  
Телефон: +7 (910) 936-15-43  
E-mail: [victoriapetrov@gmail.com](mailto:victoriapetrov@gmail.com)  
Сайт: <http://tstu.tver.ru>

Подпись Петропавловской В.Б. заверяю

