

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ижевский государственный
технический университет
имени М.Т. Калашникова»
(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т.
Калашникова»).

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и
инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «ИжГТУ
имени М.Т. Калашникова»
к.т.н., доцент Копысов А.Н.

Студенческая ул., д. 7, г. Ижевск, УР, 426069
тел. (3412) 77-20-22, 58-88-52, 77-60-55
(многоканальный)
факс: (3412) 50-40-55
e-mail: info@istu.ru <http://www.istu.ru>
ОКПО 02069668 ОГРН 1021801145794
ИНН/КПП 1831032740/183101001



2025г.

№ _____
На № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Ижевский государственный технический университет
им. М.Т. Калашникова» (ИжГТУ им. М.Т. Калашникова)
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

Для отзыва представлены автореферат и диссертация, состоящая из
введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа
изложена на 193 страницах машинописного текста, включающего 31 таблицу,
59 рисунков, список литературы из 170 наименований источников работ
отечественных и зарубежных авторов, 7 приложений.

1. Актуальность темы исследования

На сегодняшний день особо остро стоит вопрос рационального
природопользования и сокращения выбросов углекислого газа в окружающую
среду. В связи с этим производство сульфатно-шлаковых вяжущих
является перспективным направлением. Дополнительным преимуществом СШВ
является возможность использования фосфоангидритовых вяжущих (ФАВ),
полученных путём обжига фосфогипса (ФГ), в качестве сульфатного

компонента. Фосфогипс представляет собой крупнотоннажный отход производства ортофосфорной кислоты и удобрений из фосфатных пород, объёмы которого исчисляются сотнями миллионов тонн по всему миру.

Различия в характеристиках фосфогипсов, производимых на разных заводах, обусловлены видом фосфатной породы и технологическими особенностями её переработки, что в совокупности отражается на свойствах ФАВ, которые, в свою очередь, оказывают влияние на процессы структурообразования сульфатно-шлаковых вяжущих.

В связи с вышеизложенным, несомненно, актуальным направлением представляются исследования Левицкой К.М., направленные на разработку рациональных составов сульфатно-шлаковых вяжущих и товарной продукции на их основе, с учетом генетически обусловленных структурно-морфологических и вещественных характеристик фосфогипсов и полученных из них ФАВ. Данные разработки позволят увеличить объёмы переработки отходов производств, уменьшить воздействие на окружающую среду и расширить сырьевую базу для производства строительных материалов в некоторых регионах.

Актуальность работы подтверждается тем, что 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).

2. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность полученных результатов исследований обеспечена большим объемом использованных современных методов физико-химического анализа, высокоточных приборов и аттестованных методик выполнения измерений и испытаний с высокой воспроизводимостью. Анализ полученных с их помощью результатов свидетельствует об обоснованности основных положений и выводов, сформулированных соискателем. Полученные данные не противоречат известным теоретическим положениям строительного материаловедения и результатам исследований других авторов.

3. Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

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. Снижение температуры получения ФАВ до 600 °С ведёт к повышению водопотребности за счёт более рыхлой и пористой поверхности частиц, а повышение до 1000 °С – ухудшает размолоспособность и гидратационную активность ввиду её избыточного уплотнения. 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. При максимальном содержании ПЦ (7 % от ДГШ) и минимальном ФАВ (15 % от ДГШ) в системе создаются наиболее благоприятные условия для щелочной и сульфатной активации шлака с высвобождением ионов Si^{4+} и Al^{3+} , взаимодействующих с избытком SO_4^{2-} , что обеспечивает быстрый набор прочности до 7 сут за счёт образования этtringита и CSH, с последующим замедлением процесса ввиду блокирования поверхности ДГШ новообразованиями. Снижение количества ПЦ ($\approx 3,5$ % от ДГШ) уменьшает его собственный вклад в упрочнение системы, но вне зависимости от рН и количества ФАВ, приводит к превалированию блокировки новообразованиями поверхности ДГШ над активацией, что отрицательно сказывается на прочности СШВ на всем периоде твердения. При отсутствии ПЦ в системе

преобладающее значение обретает сульфатная активация ДГШ, что обеспечивает низкую степень блокировки его поверхности и длительный период равномерного набора прочности, итоговые значения которой, в том числе, зависят от pH и количества ФАВ.

Установлено, что при отсутствии портландцемента в составе сульфатно-шлаковых вяжущих, изготовленных с использованием ФАВ с высоким pH (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 ПЩ. 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. При этом увеличение в составе доли ФАВ с 25 до 40 % не оказывает значимого отрицательного влияния на прочность бесцементных СШВ и закладочных смесей на их основе.

4. Теоретическая и практическая значимость результатов исследований для развития соответствующей отрасли науки

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 pH 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.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Методы и подходы, использованные в диссертационном исследовании, а также результаты и выводы рекомендуются к применению в практике изготовления сульфатно-шлаковых вяжущих с использованием фосфоангидрита и закладочных смесей на их основе. Полученные результаты исследований целесообразно продолжить в направлении расширения спектра гипсосодержащих отходов разных заводов, а также рассмотреть возможность разработки рационализации составов сульфатно-шлаковых вяжущих и закладочных смесей на их основе.

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований предлагается использовать в учебном процессе при подготовке студентов магистратуры, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство».

6. Замечания

В процессе обсуждения работы сделаны следующие замечания и предложения:

1. Соискатель изготавливал сульфатно-шлаковые вяжущие путем смешивания предварительно размолотых до заданной удельной поверхности компонентов (доменного гранулированного шлака и фосфоангидрита), однако было бы целесообразно рассмотреть изготовление вяжущих путем совместного помола всех компонентов, что возможно бы повысило однородность смеси и физико-механические характеристики затвердевших вяжущих.

2. Целесообразно было бы рассмотреть возможность нейтрализации примесей в исходных фосфогипсах, в частности у фосфогипса, взятого с ЗАО «ФосАгро» (г. Балаково).

3. В тексте диссертационной работы не указаны критерии выбора доменного гранулированного шлака. Возможно ли использовать другие шлаки?

4. Исходя из того, что разработанные сульфатно-шлаковые вяжущие являются водостойкими и сульфатостойкими, стоило рассмотреть возможность получения на их основе изделий для гидротехнического строительства.

5. В диссертации не представлены полные варианты разработанных нормативных документов, представлены только титульные листы.

6. По тексту диссертации встречается некоторое количество грамматических ошибок и опечаток.

Отмеченные замечания не снижают ценности работы и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод о том, что диссертация Левицкой Ксении Михайловны на тему: «Сульфатно-шлаковые вяжущие с использованием фосфоангидрита и закладочные смеси на их основе» выполнена на высоком научном уровне с использованием современных методов исследований, является завершённой научно-квалификационной работой на актуальную тему. Работа обладает научной новизной и практической ценностью, в ней содержится научно-обоснованное технологическое решение, имеющее высокую значимость для развития строительной отрасли.

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

По новизне, уровню выполнения работы, объёму, актуальности, научной и практической значимости работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует пунктам 9–11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября

2013 г., а ее автор **Левицкая Ксения Михайловна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Диссертационная работа Левицкой К.М. и отзыв ведущей организации заслушаны и одобрены на заседании кафедры «Строительные материалы, механизация и геотехника» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова» «05» июня 2025 г
Протокол заседания № 1 от «05» июня 2025г.

Доктор технических наук по специальности

05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы,

профессор, заведующий кафедрой

«Строительные материалы, механизация и геотехники»

ФГБОУ ВО «Ижевский

государственный технический

университет им. М.Т. Калашникова»

Яковлев

Григорий Иванович

«05» 06 2025 г

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

Г.И. Яковлев

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова»

Адрес: 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7

Тел. +7 (3412) 77-20-22

<https://istu.ru/material/kontakty>

E-mail: info@istu.ru



*Яковлев Г.И. Яковлева удостоверяю,
подпись специалиста по персоналу
А.В. Григорьев*