

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный
технический университет»

к.т.н., доцент
Картель А.Ю.

2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» на диссертационную работу Глазкова Романа Алексеевича на тему: «**Гипсосодержащее шлакощелочное вяжущее и мелкозернистый бетон на его основе**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия

Актуальность и значимость темы диссертации. В условиях непрерывного роста населения, ускоренной индустриализации и возрастающего потребления в мировом масштабе вопросы устойчивого природопользования становятся критически важными.

Глобальное потепление, загрязнение среды, истощение ресурсов и деградация экосистем свидетельствуют о том, что антропогенное давление на экосистему планеты достигло предела её восстановительного потенциала.

Современные подходы к решению этих проблем включают следующие решения:

- технологическое развитие, направленное на создание энергоэффективных, малоотходных и замкнутых производственных циклов, а также переход на возобновляемые источники энергии, хотя такие решения зачастую дороги и недоступны для многих регионов;
- осознанное потребление, предполагающее сокращение отходов и бережное отношение к ресурсам;
- государственное регулирование через экологические стандарты, лимиты на добычу, охрану природных территорий и поддержку «зелёного» бизнеса.

Эти меры, реализуемые в комплексе, формируют основу стратегии устойчивого развития.

В этой связи, несмотря на высокую технологическую зрелость, удобство применения и универсальность портландцемента, уже на современном этапе назревает необходимость целенаправленного развития альтернативных бесклинкерных вяжущих систем. Такая потребность

особенно актуальна в условиях жёстких логистических ограничений – при освоении удалённых и труднодоступных регионов, а также при решении задач строительства, где требуется максимальное использование местных минеральных ресурсов при минимальном привлечении доставляемых сырьевых компонентов.

В контексте вышеописанных подходов, ориентированных на рациональное природопользование, в том числе, и в направлениях экологически чистого строительства работа соискателя Глазкова Р.А. в полной мере оправдывает свою актуальность, а создание шлакощелочного вяжущего с использованием гипсосодержащего сырья открывает новые возможности для модели устойчивого строительства, снижая экологический след, связанный с традиционными цементными технологиями.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки. В работе обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения гипсосодержащего шлакощелочного вяжущего с использованием цитрогипса и мелкозернистого бетона на его основе, которая заключается в совместной щелочной активации алюмосиликатного и гипсосодержащего компонентов с учетом совокупности генетических характеристик сырья, что делает данную работу **практически значимой** для строительной отрасли. Автором расширены теоретические представления о закономерностях влияния природы щелочного активатора на технологические параметры эффективных условий термовлажностной обработки и, как следствие, процесса твердения и формирования эксплуатационных характеристик конечных гипсосодержащих шлакощелочных композитов, расширяющие представления о направленном структуро- и фазообразовании в вяжущих системах щелочной активации, что обуславливает **теоретическую ценность** данного исследования.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации. Полученные Глазковым Р.А. данные могут быть использованы для расширения сырьевой базы при утилизации многотоннажных промышленных отходов в производстве гипсосодержащих шлакощелочных вяжущих и материалов, а также решения вопросов импортозамещения с переходом на бесклинкерные вяжущие атермального синтеза. Возможность практической реализации теоретических и экспериментальных исследований, предлагаемых в работе, подтверждается разработкой нормативно-технической документации и опытно-промышленной апробацией. Теоретические положения, результаты научно-исследовательской работы и промышленного внедрения могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров.

Цель работы и степень обоснованности научных положений. Целью диссертационной работы Глазкова Р.А. являлась разработка научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение гипсосодержащего шлакощелочного вяжущего и мелкозернистого бетона на его основе. Для достижения поставленной цели автором были решены различные научные и технологические задачи, в том числе:

– изучение вариативности генетически обусловленных характеристик металлургических шлаков и ее влияние на основные эксплуатационные свойства шлакощелочного вяжущего;

– изучение влияния компонентного состава и рецептурно-технологических параметров синтеза на физико-механические характеристики ГШЩВ;

– разработка составов и технологических принципов производства ГШЩВ и мелкозернистого бетона на его основе.

Научные положения, отраженные в рукописи, а также сформулированные выводы и рекомендации находятся в соответствии с современными научными представлениями о процессах структуро- и фазообразования в бесклинкерных системах щелочной активации, принятых среди ученых в области строительного материаловедения.

Научную новизну кандидатской диссертационной работы Глазкова Р.А. составляют разработанные научно-технические принципы, заключающиеся в установлении характера влияния цитрогипса при модифицировании шлакощелочного вяжущего на его структурообразование. Цитрогипс в составе шлакощелочной вяжущей системы в процессе взаимодействия с щелочным активатором выступает «поставщиком» SO_4^{2-} -анионов и Ca^{2+} -катионов, способствуя тем самым формированию дополнительных структурообразующих продуктов реакции: этtringита, тоберморита, C-S-H и C-A-S-H фаз. Щелочные активаторы проранжированы по степени увеличения эффективности их использования в составе гипсосодержащего шлакощелочного вяжущего: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3$.

Обосновано и экспериментально подтверждено технологическое решение, обеспечивающее получение гипсосодержащего шлакощелочного вяжущего с использованием цитрогипса и мелкозернистого бетона на его основе, заключающееся в совместной щелочной активации алюмосиликатного и гипсосодержащего компонентов с учетом совокупности генетических характеристик сырья: химического, фазово-минерального и гранулометрического составов, морфологических и физико-механических свойств металлургических шлаков и цитрогипса, их реакционной способности в условиях высокощелочной среды, природы щелочного активатора; а также в учете термовлажностных условий твердения вяжущей системы.

Установлены закономерности влияния рецептурных факторов, а

именно, количества и соотношения компонентов в гипсосодержащем шлакощелочном вяжущем на физико-механические характеристики ГШЩВ и мелкозернистого бетона, позволяющие провести многокритериальную оптимизацию и установить рациональные границы варьирования рецептурно-технологических факторов, дополняющие систему структурной методологии строительного материаловедения.

Анализ содержания диссертации. Основная идея диссертационной работы посвящена разработке научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение гипсосодержащего шлакощелочного вяжущего и мелкозернистого бетона на его основе, что позволит расширить представления о влиянии гипсосодержащих компонентов на процессы структурообразования в щелочеактивированной вяжущей системе. Актуальность поставленной научной проблемы, ее научная и практическая значимость, четко сформулированная цель и задачи, решаемые в рамках диссертационной работы отражены во *Введении* рукописи.

В главе 1 представлен подробный обзор, посвященный опыту и перспективам получения и применения вяжущих и материалов щелочной активации, а также применения гипсосодержащих компонентов разной природы с точки зрения физико-механических характеристик и их поведения в процессе эксплуатации по сравнению с существующими аналогами, как правило, на основе портландцемента.

В главе 2 представлено подробное описание характеристик используемых сырьевых компонентов, входящих в состав вяжущего и бетона (щелочные агенты и мелкий заполнитель); применяемых аналитических и стандартных методик, а также оборудования и инструментария, необходимого для проведения экспериментальных исследований.

В главе 3 изучены такие ключевые свойства используемых в работе твердофазных сырьевых компонентов алюмосиликатного состава (металлургических шлаки) и гипсосодержащего отхода, как химический, фазово-минеральный и гранулометрический составы, морфологические, физико-механические и радиационные характеристики с точки зрения их соответствия / пригодности и эффективности применения в системе «металлургический шлак – щелочной активатор – гипсосодержащий компонент». Выявлено, что исследуемые в работе техногенные продукты: металлургические шлаки и цитрогипс, не превышают допустимый показатель ЕРН и могут быть применены в любых строительных работах без ограничений.

Изучена кинетика помола металлургических шлаков; предложен последовательный ряд по степени их размолоспособности.

В главе 4 осуществлялся подбор наиболее эффективных видов щелочных активаторов. Выявлены наиболее благоприятные условия отверждения гипсосодержащей шлакощелочной вяжущей системы; подробно

изучены физико-механические, реологические и микроструктурные характеристики ГШЩВ на основе доменного гранулированного шлака и цитрогипса. Соискателем Глазковым Р.А. выявлено, что содержание в составе цитрогипса щелочных катионов Ca^{2+} , обеспечивающих наличие щелочного активирующего агента в системе дает потенциальную возможность сокращения дополнительного введения щелочного активатора извне. Установлено пагубное влияние избыточного содержания щелочного активатора (независимо от типа катиона щелочного металла: $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$) в шлакощелочной вяжущей системе на ее показатели компрессионной прочности.

Подобраны оптимальные условия твердения гипсосодержащего шлакощелочного вяжущего в зависимости от типа активирующего агента.

Разработаны составы гипсосодержащего шлакощелочного вяжущего с пределом прочности при сжатии 34,4–74,5 МПа, при изгибе 4,1–10,2 МПа, средней плотностью 1971–2384 кг/м³.

Выявлена пригодность подобранных оптимальных составов гипсосодержащих шлакощелочных вяжущих суспензий в рассматриваемом диапазоне скоростей сдвига, по своим реологическим параметрам для использования в технологических процессах при получении материалов и изделий с их применением.

В главе 5 соискателем Глазковым Р.А. разработаны составы мелкозернистого бетона на основе гипсосодержащего шлакощелочного вяжущего со средней плотностью 2003–2150 кг/м³, классами прочности на сжатие В10–В30 и морозостойкостью F15–F50. Установлено, что введение цитрогипса эффективно способствует снижению усадочных деформаций: до 10 раз в зависимости от типа щелочного активатора.

Предложена технология производства стеновых камней, учитывающая минералогические особенности доменного гранулированного шлака и цитрогипса, а также условия эффективного синтеза системы «шлак – цитрогипс – щелочной активатор». Предложенная технология адаптирована под существующие производственные линии для мелкозернистого бетона, в частности, на основе ПЦ без значительной модернизации технологических переделов.

Степень достоверности научных положений и результатов обеспечена глубокими теоретическими исследованиями, применением современных методов исследований, в том числе, полнопрофильного метода Ритвельда, обработкой большого объема экспериментальных данных, полученных с помощью современного измерительного оборудования.

Достоверность теоретических положений подтверждена сравнением с результатами экспериментальных исследований, опытно-производственных испытаний и сравнением с литературными данными отечественных и

зарубежных источников. Результаты диссертационной работы прошли неоднократную апробацию в научных изданиях и материалах всероссийских и международных научных конференций.

Диссертация и автореферат написаны хорошим научным языком, сформулированные выводы обоснованы и отражают основные результаты работы.

По тексту диссертации и автореферата имеются замечания:

1. В работе сделан большой акцент на наличие экологического эффекта при практической реализации предлагаемой соискателем разработки. Следует пояснить, чем обусловлен данный экологический эффект?

2. В своей работе Вы ссылаетесь на классификацию, предложенную Кожуховой Н.И. в своей докторской диссертации, «химически активированные минеральные вяжущие». Поясните, пожалуйста, какое место в данной классификации занимают рассматриваемые в данной диссертационной работе шлакощелочные вяжущие?

3. В литературе встречаются, работы в которых в качестве противоусадочного агента применяется Na_2SO_4 ? Чем обоснован выбор в данной работе в сторону цитрогипса?

4. С целью сравнительного анализа, в работе, кроме цитрогипса, интересно было бы рассмотреть другие виды гипсосодержащих отходов в рассматриваемой шлакощелочной вяжущей системе?

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы, выполненной на высоком научном уровне.

Личный вклад соискателя в разработку затронутой научной задачи подтверждается наличием 16 публикаций в представительных изданиях, в том числе, 3 – в российских журналах, рекомендованных ВАК РФ; 2 – в зарубежных изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, из них 2 публикации – в журналах Q1, Q2 (Scopus, Web of Science).

На основании изложенного можно заключить, что Р.А. Глазковым представлена к защите самостоятельно выполненная законченная научная квалификационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук, в которой успешно решена актуальная задача разработки ресурсо- и энергосберегающих технологий, что соответствует «Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». В диссертационной работе **«Гипсосодержащее шлакощелочное вяжущее и мелкозернистый бетон на его основе»** предложено научно обоснованное технологическое решение, имеющее важное промышленное и хозяйственное значение для развития производства шлакощелочных вяжущих систем и материалов, а также строительной индустрии РФ в целом.

