

ОТЗЫВ

**официального оппонента кандидата технических наук, доцента
Баженовой Софьи Ильдаровны**

на диссертационную работу **Смольской Екатерины Алексеевны** на тему
«**Разработка экологически эффективных цементов с пониженным клинкер-
фактором на основе природных и техногенных алюмосиликатов**»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических
материалов

На отзыв представлена диссертация объемом 193 страницы машинописного текста, состоящая из введения, 8 глав, выводов, списка литературы, включает 71 рисунок, 22 таблицы и 1 приложение.

Актуальность темы исследования

Представленное исследование посвящено важной проблеме, связанной с сокращением объема выбросов парниковых газов при производстве цемента, являющегося ключевым строительным материалом современности. Автор последовательно описывает энергетические затраты и негативные последствия, возникающие при изготовлении портландцементного клинкера, их зависимость от химического состава сырья и характера используемого топлива.

Основное предложение работы заключается в снижении количества используемого клинкера (так называемого клинкер-фактора) путем добавления специальных активных добавок, таких как пуццоланы. Этот подход не только помогает снизить отрицательное воздействие на окружающую среду, но и создаёт предпосылки для достижения стратегических целей государства, сформулированных в соответствующей национальной программе по снижению выбросов парниковых газов до 2050 года и достижении углеродной нейтральности к 2060 году.

Особое внимание уделено возможностям расширения ассортимента добавок, позволяющих производить низкоуглеродные цементы. Предлагается использовать не только традиционные природные компоненты, но и повторно утилизируемые техногенные отходы, такие как отходы сточных вод и рисовую шелуху. Эти нововведения помогают решить сразу две проблемы: улучшить эколого-экономические показатели производства цемента и ускорить решение вопросов обращения с отходами, загрязняющими природу.

Важнейшей частью диссертационной работы является представление путей и принципов разработки новейших составов композиционных цементов, позволяющих добиться необходимого баланса между качеством продукции и экологическими аспектами. Рассмотренные механизмы активации и рецептура обеспечивают необходимый компромисс между производительностью, стоимостью и качеством продукции.

Таким образом, данное исследование является важным вкладом в развитие современной науки о строительных материалах, способствующим продвижению идей устойчивого развития, а также поддержке национальных приоритетов в области охраны окружающей среды и защиты здоровья населения.

Научная новизна

Установлено, что для достижения максимальной пуццолановой активности, для каждого семейства (типа) слоистых алюмосиликатов необходимо использовать разные способы обработки: термообработка, механоактивация, термоактивация и

пилларирование. Доказано, что для каолинитового типа со структурой 1:1 наиболее подходящий тип активации классический – термообработка в диапазоне температур от 550 до 700 °С, в результате чего образуются активные оксиды кремния и алюминия. Для монтмориллонитовых (или бентонитовых) глин типа 2:1 и хлоритовых глин типа 2:1:1 необходимо применять иные типы активации – механохимическую активацию (термообработка в присутствии щелочного агента с последующим измельчением), химико-термическую активацию (термообработка в присутствии щелочного агента). А также пилларирование - обработка глины раствором сульфата алюминия с последующей интеркаляцией, в результате которой происходит замещение щелочных и щелочноземельных катионов, содержащихся в глине, на алюминий, что приводит к образованию цепочечных кластеров, расширяющих межслоевое пространство алюмосиликатов.

Разработаны новые составы портландцемента с техногенными пуццолановыми добавками - дополнительными цементирующими материалами: термообработанным осадком сточных вод и отходами рисовой шелухи. Полученные цементы обладают плотной структурой и повышенной прочностью, что доказывает эффективность их применения как пуццолановых добавок.

Установлено, что метод пилларирования позволяет получить алюмосиликаты с высокой пуццолановой активностью на основе термоактивированных монтмориллонитовых глин с использованием сульфата алюминия. Пилларирование повышает их удельную поверхность и активность в несколько раз, по сравнению с показателями промышленного метакаолина.

Предложен новый путь создания активных минеральных добавок на основе механизма полимеризации алюмосиликатов раствором щелочи. В результате термощелочной активации глина дегидроксилируется с образованием активных центров, вследствие чего обладает высокой пуццолановой активностью. Данный метод позволяет снизить температуру обжига глин на 100 °С, что уменьшит энергозатраты при производстве таких добавок.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований

Обоснованы и экспериментально проверены четыре основных механизма активации алюмосиликатов разного структурного типа, для каждого конкретного типа алюмосиликатов подобраны оптимальные режимы обработки: температура, изотермическая выдержка, скорость охлаждения, активаторы процесса.

Установлена эффективность применения в качестве активной минеральной добавки как природных термообработанных алюмосиликатов, так и термоактивированных отходов промышленности, таких как осадок сточных вод и рисовая шелуха, пуццолановая активность которых сопоставима с термообработанным монтмориллонитом.

Доказана эффективность применения метода пилларирования в качестве активатора алюмосиликатов структурного типа 2:1 (монтмориллонитовая группа) и 2:1:1 (хлоритовая группа), который позволяет получить новый тип добавок с высокими показателями пуццолановой активности, сопоставимыми с промышленным метакаолином.

Разработаны составы низкоуглеродных цемента – как с природными алюмосиликатами, так и отходами промышленности (термообработанным осадком сточных вод и золой рисовой шелухи), которые могут быть отнесены к цементу типа ЦЕМ II/A-П 52,5Н.

Полученные в рамках проведенных исследований результаты позволили разработать способ производства низкоуглеродного цемента, который был запатентован и может быть использован на цементном производстве. Эффективность применения разработанных составов подтверждена современными методами испытаний, которые соответствуют международным стандартам качества.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная значимость представленной диссертации обусловлена тщательным соблюдением общепринятых стандартов оценки свойств цементов и адекватностью интерпретаций полученных результатов. Применяемые исследовательские методы позволили провести комплексное изучение влияния различных факторов на механические, физико-химические и экологические характеристики цемента, обеспечивая точность и воспроизводимость данных.

Дополнительно отмечается, что результаты диссертации согласуются с существующими публикациями по сходным тематикам, подтверждая достоверность и научную основательность сделанных выводов. Таким образом, данная работа вносит важный вклад в накопленную мировую литературу по вопросам усовершенствования технологий производства цемента и становится надежным источником информации для исследователей и инженеров-строителей, заинтересованных в создании новых поколений строительных материалов с улучшенными функциональными и экологическими параметрами.

Основные положения работы соискателя были представлены на международных и российских конференциях: Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова (Белгород, 2019); Международном молодежном научном симпозиуме имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2019); Междисциплинарном научном форуме с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии» (Москва, 2020); Всероссийской молодежной научной конференции «Экологобезопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы» (Улан-Удэ, 2020); Международном конгрессе по химии и химической технологии (Москва, 2019-2024); Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» (Томск, 2020-2025); III-Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии производства стекла, керамики и вяжущих материалов» (Ташкент, 2024).

За разработку способа производства низкоуглеродных цементов автор работы удостоен премии «УМНИК-2019» (г. Москва). Является призером Всероссийского инженерного конкурса «ВИК-2019» в номинации «Химические технологии» (г. Крым, 2019). В 2024 г. Смольская Е.А. награждена Премией Правительства Москвы в области экологии и охраны окружающей среды. Лауреат премии «Колба-2024» в специальной номинации «Молодые ученые», а также неоднократный лауреат и победитель международного конгресса по химии и химической технологии «МКХТ».

По теме диссертации опубликовано 30 научных работ, в том числе 5 работ в рецензируемых научных изданиях, включенных в базы цитирования Web of Science и Scopus, и 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов научных исследований, получен 1 патент.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа соискателя Смольской Е.А. соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Во введении к диссертации чётко обозначена актуальность выбранной темы, обусловленная необходимостью снижения негативного воздействия цементного производства на окружающую среду и достижения стратегических целей по переходу к низкоуглеродной экономике. Определены конкретные цели и задачи исследования, нацеленные на разработку и испытания новых видов цементов с пониженным содержанием клинкера и повышенным количеством активных минеральных добавок.

Первая глава диссертации охватывает основополагающие аспекты производства цемента и проблемы, связанные с высоким объемом выбросов парниковых газов. Акцент сделан на определении и анализе различных этапов технологического процесса, генерирующих вредные выбросы, главным образом CO_2 , возникающего при добыче и обработке сырья, а также при обжиге клинкера.

Анализируется проблема глобального потепления и возрастающая ответственность предприятий за соблюдение норм экологичности, вводятся концепции низкоуглеродных технологий и «зелёных» цементов. Описываются возможные меры по снижению выбросов CO_2 , включая модернизацию оборудования, оптимизацию состава сырьевых смесей и внедрение инновационных технологий. Одним из центральных положений главы является утверждение о том, что ключевой фактор сокращения выбросов — это снижение содержания клинкера в готовом продукте (уменьшение клинкер-фактора), что достигается добавлением специальных добавок, называемых пуццоланами.

Подробно рассматриваются современные представления о взаимодействии продуктов гидратации цемента с активными минеральными добавками, такими как кальцинированные глины и известняк. Проводится сравнение взаимодействия разных типов алюмосиликатов и предлагается адаптированный подход к каждому типу, позволяющий увеличить пуццолановую активность и улучшить конечные свойства цемента. Отдельно указывается на перспективность использования техногенных отходов в качестве замены части клинкера, что актуально с точки зрения экономии ресурсов и экологических соображений.

Таким образом, первая глава закладывает основы всей работы, формулируя постановку задачи и определяя направления дальнейших исследований, направленных на улучшение экологических и экономических характеристик производства цемента.

Вторая глава диссертации представляет собой важную часть работы, предназначенную для описания базовых элементов, необходимых для последующего проведения научных исследований. Здесь содержится подробная информация о физических и химических характеристиках выбранных исходных материалов, спецификациях лабораторного оборудования и инструментариях, применяемых для выполнения запланированных экспериментов.

Методология проведения экспериментов включает описание последовательности действий и контрольных процедур, гарантирующих получение валидных и интерпретируемых данных.

Третья глава посвящена рассмотрению методов получения пуццолановых добавок путем термообработки различных типов алюмосиликатов. В ходе

исследования проведено детальное изучение 13 разновидностей природных алюмосиликатов, что позволило подтвердить прямую связь между их структурой и уровнем пуццолановой активности. Выделяются три основных типа глин: 1:1 (каолинитовые), 2:1 (монтмориллонитовые) и 2:1:1 (хлоритовые), отличающиеся числом слоев и характером связей между ними.

Определены оптимальные параметры термообработки для каждого типа глин: для каолинитовых глин температура обжига составила 600 °С, для монтмориллонитовых – 650 °С, а для иллит-хлоритовых – 700 °С.

Автором выявлено, что механизм разрушения структуры глин зависит от их типа. Каолинитовые глины претерпевают значительные изменения, теряя гидроксильные группы и переходя в аморфное состояние, сохраняя при этом слоистую морфологию. Напротив, материалы семейства типа 2:1 и 2:1:1 подвергаются постепенному разложению без значительных нарушений кристаллической решетки, но при определенных условиях увеличивается расстояние между плоскостями.

Проведен сравнительный анализ образцов, обработанных разными способами, что дало возможность рекомендовать наиболее подходящие режимы термообработки для получения пуццолановых добавок с заданными техническими характеристиками. Полученные результаты позволяют утверждать, что введенные добавки улучшают свойства цемента, продлевая срок службы конструкций и повышая их устойчивость к внешним факторам.

Важно отметить, что предложенный подход учитывает потребность в специализированных исследованиях для точной настройки условий термообработки, учитывая уникальные свойства каждого типа глины. Разработанная технология получила подтверждение своей эффективности в лабораторных тестах и готова к дальнейшему применению в промышленной практике, что сделает возможным выпуск более экологичных и устойчивых строительных материалов.

Четвёртая глава посвящена рассмотрению свойств портландцемента, произведённого с добавлением техногенных пуццолановых материалов — термообработанного осадка сточных вод и рисовой шелухи. Исследование показало, что обе добавки эффективны в роли пуццолановых компонентов, помогая достигать синергетического эффекта в производстве цемента, выражающегося в сокращении объёмов выбросов парниковых газов и увеличении долговечности и прочности цементного камня.

Термообработанный осадок сточных вод выступает в роли эффективного дополнительного цементирующего компонента, демонстрирующего хорошую пуццолановую активность при определенной температуре термообработки. Оптимальные условия обжига составляют 650 °С в течение часа, при которых достигается максимальный уровень активности. Использование осадка сточных вод в качестве добавки оказывает позитивное влияние на свойства цемента, снижая водопоглощение и пористость, что ведет к улучшению прочностных характеристик.

В роли другой техногенной активной минеральной добавки выступает рисовая шелуха, богатая аморфным кремнеземом. Ее предварительная термообработка позволяет избавиться от органических примесей и усилить пуццолановую активность, хотя и в меньшей мере, чем у осадка сточных вод. Наиболее эффективной оказалась зола рисовой шелухи, получаемая при температуре 600 °С. Эта добавка в комплексе с цементной матрицей показала высокие показатели прочности, надёжности и

устойчивости к сульфатной агрессии, значительно превосходя обычный цемент без добавок.

Пятая глава фокусируется на получении нового типа пуццолановых добавок с использованием метода пилларирования, позволяющего значительно повысить их эффективность и область применения. В центре внимания находится процесс трехступенчатого пилларирования природных алюмосиликатов, состоящий из последовательных операций обработки глины раствором сульфата алюминия, формирования полиядерных гидрокомплексов и завершающийся термической обработкой, приводящей к образованию крупных кластеров.

Смольской Е.А. установлено, что для достижения максимальной эффективности от применения данного метода, необходимо учитывать тип глин и их удельную поверхность.

Представленная в пятой главе работа важна не только с академической точки зрения, но и в практическом плане, предоставляя реальные инструменты для улучшения существующих технологий производства цемента и расширения сырьевой базы для создания более качественных и устойчивых строительных материалов.

Шестая глава посвящена развитию нового подхода к созданию активных минеральных добавок, основанных на принципе термощелочной активации глин, где ключевую роль играет процесс геополимеризации. Основная идея заключается в том, что при взаимодействии оксидов кремния и алюминия с щелочным раствором происходит растворение и последующее формирование полимерных цепочек.

Механизмы щелочной активации глин начинается с термообработки глин в присутствии щелочного агента, который стимулирует появление свободных радикалов и снижает температуру обжига приблизительно на 100 °С. Именно это позволяет активировать скрытые резервы глины, превращая их в эффективные пуццолановые добавки.

С помощью инфракрасной спектроскопии подтверждено наличие широких колебаний ОН-групп в диапазоне 3100-3400 см⁻¹, что указывает на присутствие активных центров, образовавшихся в результате термощелочной активации. Среди изучаемых типов глин наибольшую склонность к щелочной активации проявила монтмориллонитовая глина, что объясняется особенностями ее структуры и интенсивностью дегидроксилирования в присутствии щелочных реагентов.

Седьмая глава посвящена разработке новых составов низкоуглеродных цементов, основой которых стали комплексные добавки, включающие карбонатные компоненты и термообработанные алюмосиликаты. Особенность предложенного подхода заключается в комбинации данных компонентов, обеспечивающих взаимодействие между известняком, кальцинированными глинами и гидратными фазами цемента, что приводит к возникновению синергетического эффекта, усиливающего пуццолановую активность глин.

В целом, седьмая глава отражает глубокое понимание процессов, лежащих в основе получения экологически чистых и эффективных строительных материалов. Подход, основанный на комбинированном применении природных и искусственных компонентов, обеспечивает уникальную возможность балансировки свойств цемента, обеспечивая прочность, долговечность и низкие уровни энергопотребления при производстве.

Восьмая глава посвящена важному этапу перевода теоретических исследований в практическую плоскость, обеспечивая их непосредственное тестирование в условиях реального производства. Основной целью данной главы

является проверка эффективности разработанных составов низкоуглеродного цемента в реальных условиях завода, расположенного в посёлке Новогуровский Тульской области.

Опытно-промышленные испытания подтвердили высокое качество полученных низкоуглеродных составов, соответствие их свойств установленным стандартам и безопасность их применения. Это создает уверенность в том, что внедряемые технологии могут быть распространены на всю отрасль, способствуя значительному снижению объемов выбросов углекислого газа и других негативных последствий цементного производства.

Заключительная часть диссертационной работы обобщает основные результаты исследований и формулирует главные выводы, которые касаются как теории, так и практики создания низкоуглеродных цемента.

Замечания и рекомендации по диссертации и автореферату:

1. На стр. 58 представлены свойства цементного теста с добавками. Как указывает автор, применение таких цемента без пластифицирующих добавок приводит к росту водоцементного отношения, а, значит, использование таких цемента без пластификаторов нежелательно. Изучалась ли прочность цемента с активными минеральными добавками без пластификаторов, наблюдалось ли ухудшение физико-механических свойств?

2. В разделе 5.3 рассматриваются свойства цемента с пилларированными глинами. Учитывалось ли возможное негативное влияние на свойства готовой затвердевшей композиции вводимого раствора сульфата алюминия?

3. В работе исследована морозостойкость цемента (например, стр. 82, стр. 142). В одной из глав указано, что цемент с добавками подвергался 200 циклам замораживания и оттаиванию, а в другой – 20 циклам. Не ясно, почему выбран такой разброс в проводимых испытаниях на одно и то же свойство - морозостойкость?

4. При каких условиях и в какое время года был сделан забор осадков сточных вод, на которых проводился эксперимент? Как подтвердили стабильность вещественного состава использованных глин и осадка сточных вод?

5. Можно ли расширить применение термообработанных алюмосиликатов в специальных областях строительства, таких как строительство элементов подводных сооружений или конструкций работающих в агрессивных средах? Если да, то какими преимуществами обладают созданные композиции относительно уже используемых традиционных аналогов?

Приведенные замечания не противоречат установленным общеизвестным научным фактам и не оказывают влияния на положительное впечатление о работе.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положением о присуждении ученых степеней

Диссертация Смольской Екатерины Алексеевны на тему «Разработка экологически эффективных цемента с пониженным клинкер-фактором на основе природных и техногенных алюмосиликатов» является завершённой научно-квалификационной работой, отличающаяся актуальностью и внутренним единством, в которой на основании проведенных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, а именно, решена задача по снижению клинкер-фактора цемента до 0,5, при этом разработанные

низкоуглеродные цементные составы обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью и морозостойкостью.

Диссертационная работа выполнена самостоятельно, исключается плагиат или заимствование чужих результатов. Данные, представленные в диссертации, оригинальны и заслуживают доверия. Вся теоретическая база подтверждена серией экспериментов, позволивших верифицировать выдвинутые гипотезы и подтвердить справедливость полученных выводов. Представленные в работе результаты принадлежат Смольской Е.А., они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

Диссертационная работа соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции Постановления Правительства Российской Федерации), с учетом соответствия паспорта специальности, а ее автор, **Смольская Екатерина Алексеевна**, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук, доцент

(специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия),

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,

доцент кафедры строительного материаловедения,

Адрес: 129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Телефон: +7-926-388-16-91

E-mail: bazhenovasi@mgsu.ru

Сайт: <https://mgsu.ru/>


_____ *подпись*

Баженова Софья Ильдаровна

«25» 11 2025 г.

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


_____ *подпись*

Баженова Софья Ильдаровна

Подпись к.т.н., доцента Баженовой Софьи Ильдаровны заверяю

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА
КАДРОВОГО ДЕЛОПРОИЗ-
ВОДСТВА УРП

А.В. ПИНЕГИН
25.11.2025

