

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.159.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА», ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (НПИ)
ИМЕНИ М.И. ПЛАТОВА», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от «18» декабря 2025 года, протокол № 13

О присуждении **Смольской Екатерине Алексеевне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка экологически эффективных цементов с пониженным клинкер-фактором на основе природных и техногенных алюмосиликатов» по специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов принята к защите «16» октября 2025 года, протокол № 7, диссертационным советом 99.2.159.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» и Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (125047 Москва, Миусская площадь, дом 9, приказ о создании диссертационного совета от «17» апреля 2025 года № 354/нк).

Соискатель Смольская (Дмитриева) Екатерина Алексеевна, «12» июля 1997 года рождения. В 2021 году окончила Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева. В 2025 году освоила программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева.

Соискатель работает в должности эксперта по сертификации строительной продукции в Обществе с ограниченной ответственностью «Фирма «Цемискон» и по совместительству – в должности ассистента кафедры химической технологии композиционных и вяжущих материалов в Российском химико-технологическом университете имени Д. И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре химической технологии композиционных и вяжущих материалов Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Потапова Екатерина Николаевна, работает в должности профессора кафедры химической технологии композиционных и вяжущих материалов Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева.

Официальные оппоненты:

Рахимова Наиля Равилевна, доктор технических наук, профессор, работает в должности профессора кафедры строительных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» (Казань);

Баженова Софья Ильдаровна, кандидат технических наук, доцент, работает в должности доцента кафедры строительного материаловедения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (Москва),

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова» (Белгород), в своем **положительном** отзыве, подписанном кандидатом технических наук, доцентом, заместителем заведующего кафедрой материаловедения и технологии материалов Бондаренко Дианой Олеговной и доктором технических наук, доцентом, профессором той же кафедры Кожуховой Натальей Ивановной, указала, что диссертация на тему «Разработка экологически эффективных цементов с пониженным клинкер-фактором на основе природных и техногенных алюмосиликатов» является завершенной 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.

В отзыве ведущей организации подчеркнуто, что работа, выполненная Смольской Екатериной Алексеевной, соответствует установленным требованиям научного исследования и свободна от признаков плагиата или неправомерного заимствования чужих идей и достижений. Все опубликованные в диссертации результаты оригинальны, доказывают глубокую компетентность и ответственность исследователя. Исходные идеи, концепции и подходы были

детально проверены в ходе серии обширных экспериментальных исследований, подтверждающих обоснованность основных положений и выводов. Диссертация Смольской Екатерины Алексеевны обладает научной новизной и практической значимостью, отличается глубиной теоретико-методологической проработки и наличием значимых прикладных приложений.

Диссертация полностью 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 паспорту 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 (отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании кафедры материаловедения и технологии материалов Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова от «17» ноября 2025 года, протокол № 16).

Соискатель имеет 70 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 30 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 8 работ.

Общий объем публикаций составляет 140 страниц. ***В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.*** Все работы опубликованы в соавторстве, личный вклад соискателя составляет более 70 % и охватывает ключевые этапы исследования: формулирование идеи, постановку задач, проведение экспериментов и последующую интерпретацию результатов. Результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на 17 международных и всероссийских научных конференциях и форумах; получен один патент. Монографий и депонированных рукописей соискатель не имеет.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации:

1. **Смольская, Е.А.** Создание низкоуглеродного цемента – шаг к зелёной трансформации цементной промышленности / **Е.А. Смольская**, Е.Н. Потапова, А.А. Волосатова, В.В. Рудомазин // Техника и технология силикатов. 2025. Т. 32, № 1. С. 16–28. DOI: 10.62980/2076-0655-2025-16-28. (*BAK, U2, Chemical Abstracts*)

2. **Смольская, Е.А.** Свойства геополимерного цемента на основе термоактивированных глин / **Е.А. Смольская**, Е.Н. Потапова, И.В. Корчунов, С.П. Сивков // Цемент и его применение. 2024. № 1. С. 50–54. (*BAK, U4, Chemical Abstracts*)

3. **Dmitrieva, E.** The effect of heat-treated polymineral clays on the properties of Portland cement paste / **E. Dmitrieva**, E. Potapova // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 38, Iss. 4. P. 1663–1668. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.08.179. (*Scopus, WoS, Q2*)

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов, ***все положительные.*** В отзывах указывается, что представленная к защите диссертационная работа

отражает современный уровень науки и техники, удовлетворяет установленным критериям, отличается актуальностью, научной ценностью в области современных вяжущих материалов и заслуживает положительной оценки, так как соискатель снизила клинкер-фактор цемента до 0,5 без потерь прочности и долговечности материала. Отзывы направили:

1. Котов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, научный сотрудник сектора физико-химических испытаний Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева акционерного общества «Научно-исследовательский центр «Строительство». Отзыв содержит вопрос: «В тексте автореферата совершенно правомерно указано, что введение термообработанных глиен приводит к росту водопотребности композиционного цемента. Рассматривался ли в работе способ снижения водопотребности получаемых низкоуглеродных цементов путем введения пластифицирующих или водоредуцирующих добавок на этапе производства, а именно в процессе измельчения цемента, либо смешивания цемента с минеральными добавками?».

2. Алексашкин Игорь Владимирович, кандидат химических наук, доцент кафедры геоэкологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского». Отзыв не содержит замечаний.

3. Мошковская Светлана Владимировна, кандидат технических наук, технический эксперт по России общества с ограниченной ответственностью «ХайдельбергЦемент Рус». Отзыв не содержит замечаний.

4. Петропавловская Виктория Борисовна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственнй технический университет». Отзыв содержит следующие замечания: «1. В работе не представлена информация с обоснованием пуццолановой активности алюмосиликатов после того или иного метода активации; 2. Из текста автореферата неясно, каким образом достигается безопасность получаемых композиций на основе токсичного осадка сточных вод?».

5. Брыков Алексей Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». Отзыв не содержит замечаний.

6. Таймасов Бахитжан Таймасович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии силикатов и металлургии Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова. Отзыв не содержит замечаний.

7. Тарыбаев Самат Елемсович, генеральный директор Общества с ограниченной ответственностью «ЦЕМИКС», и Косарева Екатерина

Рудольфовна, руководитель службы качества, исследований и разработок Общества с ограниченной ответственностью «ЦЕМИКС». Отзыв не содержит замечаний.

8. Исмагилова Эльвира Римовна, кандидат технических наук, главный научный сотрудник общества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский и проектный институт Химпроинжиниринг». Отзыв не содержит замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в технологии вяжущих материалов строительного назначения, наличием научных достижений и глубокими профессиональными знаниями по научной специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, способностью дать объективное заключение, проявить высокую научную принципиальность и требовательность, подтверждается значительным количеством публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, и выполнен в соответствии с пп. 22 и 24 «Положения о присуждении научных степеней» (Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 в действующей редакции).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

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). Также следует проводить пилларирование – обработку 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.

Доказано, 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 значимость исследования обоснованы тем, что:

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.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Разработаны 13 составов низкоуглеродных цементов – 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, что позволяет в будущем расширить диапазон добавок, применяемых в качестве пуццоланы.

Проведены опытно-промышленные испытания композиционного цемента с термообработанными природными и техногенными алюмосиликатами, по результатам которых сделан вывод, о том, что разработанные активные минеральные добавки в комплексе с природным известняком могут быть использованы в качестве комплексной добавки в цемент, без ухудшения его основных строительно-технических свойств.

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 цемента.

Определены перспективы практического использования композиционных цементов с термообработанными природными и техногенными алюмосиликатами в современном строительстве. Установлено, что применение разработанных низкоуглеродных цементов позволит создавать высокопрочные, долговечные, морозостойкие и коррозионностойкие композиции на основе цемента, что параллельно решит проблему утилизации промышленных отходов и снизить парниковый эффект при производстве клинкера.

Разработаны методические рекомендации по проведению эффективной термообработки алюмосиликатов различной природы, что позволяет получать высокоактивные минеральные добавки повсеместно (на любом современном цементном производстве).

Предложенные в работе низкоуглеродные составы цементов с использованием различной сырьевой базы **рекомендованы к использованию** на современных цементных предприятиях. С помощью данного способа можно не только повысить прочность цементов, но и снизить клинкер-фактор до 0,5, при этом прочность низкоуглеродного цемента на 28 сутки твердения составляет 63,5 МПа.

Результаты работы могут быть рекомендованы для изучения и внедрения в научных и образовательных организациях, а также на предприятиях по производству строительных материалов, в частности, где ведутся научные исследования в области энергоэффективного производства портландцемента с комплексными минеральными добавками – в обществах с ограниченной ответственностью «ХайдельбергЦемент Рус», «Цементум Центр», «ЦЕМИКС», открытом акционерном обществе «Верхнебаканский цементный завод» и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **экспериментальная часть** выполнена на сертифицированном оборудовании последнего поколения в строгом соответствии с государственными и международными стандартами. Используются статистически надежные методы обработки данных. Надежность результатов лабораторных исследований подтверждена большой выборкой экспериментальных данных, хорошей повторяемостью результатов и применением новейших аналитических методов, таких как рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия и другие;

– **теоретическая часть** работы основана на фундаментальных положениях химии и технологии силикатов, учитывающих хорошо известные и подтвержденные закономерности физико-химических процессов, происходящих при производстве силикатных материалов. Теоретические положения совпадают с экспериментальными данными, представленными в отечественных и

зарубежных источниках, и подкреплены собственными результатами исследований, изложенными в настоящей диссертации;

– **идея базируется** на анализе имеющихся результатов и обобщении передового научного опыта фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых в области исследования свойств цемента с активными минеральными добавками, а также влияния их химико-минералогического состава на свойства композиционного материала;

– **использованы** данные аналитического обзора научных исследований мирового уровня по тематике диссертационной работы. Полученные результаты и сделанные соискателем выводы не противоречат им и расширяют современные представления о термообработке и термоактивации алюмосиликатов с разным химико-минералогическим составом и их применении в качестве активной минеральной добавки в цемент;

– **установлено** качественное соответствие авторских результатов по оценке свойств и эффективности разработанных составов научным данным независимых исследователей в ведущих мировых научных изданиях по данной тематике;

– **достоверность** полученных результатов обеспечена использованием методик эксперимента, соответствующих современному научному уровню исследований в предметной области работы, и подтверждена их согласованностью;

– **выводы диссертации обоснованы** и не вызывают сомнения и согласуются с современными представлениями о механизмах термоактивации алюмосиликатов, а также их взаимодействии с гидратными фазами цемента.

Личный вклад соискателя состоит в постановке целей и задач исследования и выборе алгоритмов решения, анализе литературных и патентных источников, проведение исследований, разработке гипотез, анализе и интерпретации результатов, подготовке статей и участии в конкурсах и конференциях. Диссертация написана автором самостоятельно, охватывает основные вопросы поставленной научной задачи, обладает внутренним единством и завершенностью.

В ходе защиты диссертации были заданы следующие вопросы:

1. Екатерина Алексеевна, скажите, пожалуйста, более четко, как Вы оценивали пуццолановую активность? По каким основным параметрам Вы ее оценивали?

2. Скажите, пожалуйста, Вы пишете в научной новизне, что у Вас образуются при термообработке каолинистых глин активные оксиды кремния и алюминия. Но при термообработке, насколько я знаю, образуется метакраин – аморфная структура, она не разделена на оксиды. Как Вы вот этот момент можете охарактеризовать? Как Вы подтверждаете, что образовались аморфные оксиды кремния и алюминия? Каким методом?

3. Конечно, структура немного изменилась и понятно, что идет взаимодействие активного метакраина с продуктами гидратации цемента. Но

эти фазы, которые образуются – они традиционные для цемента? Или это какие-то новые совершенно структуры? Например, в керамике это образование анортита, что образуется у Вас – в цементе, что дает потом такую прочность.

4. При производстве цемента ведь еще не образованы гидратные фазы? Вы же только обжигаете клинкер – образуется алит, белит и другие клинкерные минералы. Тогда почему речь идет о гидратных фазах?

5. Скажите, как у Вас экономическая составляющая меняется, ведь у Вас есть дополнительный обжиговый процесс? То есть присутствуют дополнительные энергетические затраты.

6. Екатерина Алексеевна, очень, конечно, замечательные Вы получили результаты. И теперь мы видим их в «цвете» и это еще повышает показательность, поэтому, некоторые слайды вызвали у меня живой интерес. Мне очень понравились слайды №№ 9/50 и 10/50. Не знаю, такой ли у них номер у Вас в презентации, на которых показан синергетический эффект от введения различных добавок. Если можно, прокомментируйте поподробнее.

7. Для создания низкоуглеродных цементов Вы использовали два техногенных продукта. Один из них достаточно хорошо изучен и известен – рисовая шелуха. Очень стабильный состав у нее. А вот осадок сточных вод – более сложный в использовании, о каких именно осадках идет речь, чье производство? И как Вы контролировали состав и стабильность отхода?

8. Екатерина Алексеевна, вопрос от непрофессионала в области цемента, тем не менее, – Россия имеет очень широкий климатический, температурный интервал и, когда Вы приводите результаты испытаний, Вы приводите их, условно говоря, при нормальной температуре. А как Ваши добавки влияют на стабильность при термоциклировании, ну, например, от +50 до -60 °C?

9. Как Вы оцениваете коммерческие перспективы внедрения Вашей разработки?

10. Какой зарубежный опыт использования таких добавок в цементе? Есть ли там развитие этого направления?

11. А как обстоят дела с промышленным производством низкоуглеродных цементов? Где-то выпускают уже такие цементы?

12. Екатерина Алексеевна, у меня вопрос по первому или второму слайду – Вы сравниваете разработанные добавки с метакаолином. Но ведь существует и ряд других добавок, которые используются в промышленности. Как Вы видите перспективу использования именно термообработанных глин? Пилларированных? По сравнению с обычными, известными активными минеральными добавками.

13. В четвертом выводе диссертации Вы акцентируете внимание на том, что у Вас меняется фазовый состав, и связываете это с повышением морозостойкости. Наверное, все-таки по классической теории повышение морозостойкости происходит за счет снижения пористости. Тогда причем здесь фазовый состав – стратлингит и карбоалюминаты кальция?

14. На стр. 10 автореферата Вы пишете, что введение осадка сточных вод повышает водопотребность, но при этом снижает пористость. Это противоречие. Тогда надо указать время твердения. На рисунке 1 не указан срок твердения.

15. Покажите 16 слайд презентации. С какой целью на правом рисунке выбран такой масштаб? Не кажется ли Вам, что в таком масштабе, изменение удельной поверхности в зависимости от температуры обжига, не проявляется явным образом? Почему шкала по оси Y выбрана от 0 до 20? Насколько это линейная зависимость?

16. В дополнении к предыдущему вопросу. Но ведь явное различие понятно из индекса же? Насколько корректно математически так изображать графики?

17. Фазовый состав глин вы оценивали, в том числе, рентгенографически, верно? Вот у Вас во всех таблицах по минералогическому составу указаны доли процентов. До первого знака после запятой. А каким образом Вам это удалось? Вы же полноценный количественный анализ не проводили? Как получили такую точность?

Соискатель Е.А. Смольская ответила на заданные ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:

По первому вопросу соискатель ответила, что пуццолановую активность оценивали по степени поглощения $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из раствора. Выбранный метод связан с тем фактом, что в результате гидратации цемента портландит образуется в определенном количестве, и, в дальнейшем, при долгосрочной перспективе использования такого цемента в бетоне на поздних сроках твердения образовавшийся гидроксид кальция может вызывать различные виды коррозии и разрушение материала. Алюмосиликаты в термообработанном виде, вводимые в цемент, купируют этот процесс, взаимодействуют сразу с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и образуют дополнительное количество гидроксидов, гидроалюминатов кальция, что уплотняет и упрочняет структуру цемента и не позволяет на поздних этапах твердения коррозионной среде проникать вглубь цементного камня. И, в целом, введение термообработанных глин не позволяет образоваться портландиту.

Оценивали пуццолановую активность двумя основными методами: классическим – по Бутту: в течение 30 суток выдерживали термообработанные алюмосиликаты в насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$, каждые двое суток титровали раствором HCl и затем рассчитывали количество поглощенного портландита полученной добавкой; и ускоренным – по ГОСТ Р 56593-2015 – принцип метода тот же, но процесс взаимодействия портландита и термообработанной глины ускорялся нагревом при $T = 90^\circ\text{C}$, что позволяет определить пуццолановую активность в течение суток. Критерии оценки активности несколько отличаются, но была определена сопоставимость данных методов и установлено, что методы коррелируются между собой и оба могут быть применимы для оценки активности.

По второму вопросу соискатель добавила, что это достаточно дискуссионный вопрос. Подтверждали с помощью рентгенофазового анализа. На дифрактограмме термообработанного каолинита было зафиксировано гало в области $5-10^\circ$, которое свойственно для рентгеноаморфных фаз. Согласно справочным данным, это может быть и метастабильный алюмосиликат – метакаолин, а по другим, при определенной изотермической выдержке в течение 60-120 минут, что и было выполнено нами – это все же аморфные оксиды кремния и алюминия по отдельности, то есть полное разрушение возможно. К чему и мы больше склоняемся. Впоследствии именно аморфные оксиды кремния и алюминия взаимодействуют с портландитом и образуют плотный цементный камень с высокой прочностью. Но, даже если полного разрушения структуры каолинита не происходит, метастабильная форма точно образуется, а вот для других алюмосиликатов этого не происходит при классической термообработке, так как в составе практически отсутствует каолинит. Акцент в научной новизне сделан именно на этом утверждении.

На третий вопрос соискатель пояснил, что в цементе образуются дополнительно общеизвестные гидратные фазы – гидросиликаты, гидроалюминаты кальция. Кроме того, может образовываться стратлингит.

В дополнении к этому *на четвертый вопрос* соискатель добавил, что производство портландцементного клинкера никак не изменится. Введение активных минеральных добавок происходит на этапе помола клинкера. В работе рассматривались свойства готового цемента и процессы его гидратация с разработанными добавками. Отдельно клинкер не синтезировался. Тем и примечательна наша низкоуглеродная технология – можно взять любой общестроительный клинкер, заменить часть его в составе цемента на термообработанную глину и получить новый высокопрочный композиционный цемент.

По пятому вопросу соискатель ответил, что проводились примерные экономические расчеты для производства рядового цемента. Дело в том, что самый энергоемкий процесс получения цемента – это обжиг клинкера, плюс его помол. Так как в разработанных составах количество клинкера снизили до 50 %, сразу удалось снизить и потребление энергии, и расход топлива. Конечно, алюмосиликаты тоже обжигают, но не при таких высоких температурах. Температура получения активных глин в 2,5 раза ниже, чем температура для синтеза клинкера. Расчеты подтвердили, что даже при условии термообработки глин, экономически выгоднее получать цементы с комплексными минеральными добавками, а не производить рядовой цемент, состоящий только лишь из клинкера. Итого, можно снизить на 25 % энергозатраты при производстве такого композиционного цемента.

На шестой вопрос соискатель ответил, что когда в цемент вводят термообработанные алюмосиликаты, при гидратации таких цементов образуются дополнительные фазы гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. При введении карбонатных пород в состав цемента также образуются

определенные фазы. При комплексном введении таких добавок – одновременно и карбонатов, и термообработанных алюмосиликатов, предварительно измельчая их и перемешивая, прочность цемента наращивается интенсивнее, чем при введении их в состав цемента по отдельности.

В настоящее время, на строительном рынке, от силы, 20 % цементов с добавками, из которых, лишь 10 % – с известняком, так как введение карбонатных пород строго ограничено их влиянием на прочность цемента. А вот совместное использование с термообработанной глиной позволит увеличить и содержание известняка в составе цемента без потери прочности, и параллельно снизить клинкер-фактор. Синергетический эффект от использования комплексной добавки на основе карбонатной составляющей и кальцинированной глины наблюдается за счет формирования новых и дополнительных гидратных образований, таких как гидрокарбоалюминаты кальция и стратлингит. Кроме того, наблюдалось усиление протекания пуццолановой реакции в присутствии карбонатных пород, которые, условно, служат катализатором данного процесса, что было установлено в ходе проведения большого числа экспериментов. А еще интересно то, что известняк тоже обладает некоторой активностью, так как подвергается предварительному измельчению (механоактивация), поэтому комплексная добавка по своей активности иногда превосходит тот же метакраулин. И по нашему предположению, известняк способен взаимодействовать с термообработанным алюмосиликатом, образуя гидрокарбоалюминаты, отсюда и наблюдался синергетический эффект.

На седьмой вопрос соискатель ответила, что применяли осадок сточных вод производства акционерного общества «Мосводоканал». Отбор производили из разных точечных проб, чтобы обеспечить усредненность состава. Как ни странно, по своему составу и структуре, осадок сточных вод схож с бентонитовыми глинами – содержит монтмориллонит и немного примесей кальцита. При этом от пробы к пробе наблюдалась стабильность состава, без явных расхождений. Особенно важен состав осадка после термообработки, ведь именно в таком виде мы использовали его в качестве добавки в цементе. Вся органическая составляющая выгорала при температуре, равной 200-300 °С. А дальше состав был стабилен, ведь дальнейшие термические превращения происходили только с алюмосиликатной составляющей, для которой уже достаточно хорошо изучены все механизмы. Негативных последствий для пуццолановой активности такой добавки или на прочность цемента – в последующем, не обнаружено. Долговечность и прочность цемента изучали в долгой перспективе – в течение года, за это время не было выявлено какого-либо отрицательного воздействия термообработанного осадка сточных вод на структуру цемента. Ведь термообработанный осадок сточных вод в свободном виде в цементе не содержится, а полностью связывается в результате протекания пуццолановой реакции. Поэтому, как для окружающей среды, так и для структуры цемента, никаких негативных последствий быть не может.

По восьмому вопросу Смольская Е.А. пояснила, что исследовали именно морозостойкость гидратированного цементного камня, который набрал марочную прочность – его способность противостоять попеременному замораживанию и оттаиванию при температуре, равной от +20 до -20 °С. Сейчас открою слайд с данными, которые были получены. После проведения определенных циклов замораживания и оттаивания по второму ускоренному методу согласно ГОСТ 10060-2012, было установлено, что за счет своей более плотной структуры, разработанный композиционный цемент, выдерживает климатические перепады температур.

А если говорить про затворение композиционного цемента при отрицательных температурах, то данное свойство не изучалось, так как такие исследования будут относиться к области изучения арктических цемента, – достаточно сложная тема, другого профиля. Но, использование разработанных низкоуглеродных цемента при отрицательных температурах, то есть их применение на большей площади нашей страны, возможно, что доказано проведенной серией экспериментов. Цементы выдерживали и 20 циклов замораживания и оттаивания, и 200 циклов, за этот период они не разрушались, структура не нарушалась, прочность сохранялась и даже наращивалась.

На девятый вопрос соискатель дала следующий ответ: на самом деле, это сложный промышленный вопрос. Мы работаем над тем, чтобы нас слышали производители цемента. Для многих цементных заводов применение термообработанных алюмосиликатов в качестве активной минеральной добавки – достаточно понятный процесс, но они не знают, с чего начать этот процесс, как правильно обжигать глины, как быстро оценивать их пригодность в качестве активной минеральной добавки. Чтобы ускорить внедрение разработанной технологии в производство, нами был получен патент. Следующий этап – убедить производителей, что для них использование разработанной технологии принесет только пользу и выгоду. Ведь мы исследовали широкую природную базу природных алюмосиликатов – 13 образцов, отобранных по всей России. Все образцы находились в прямом доступе у цементных заводов, ведь на основе этого сырья они получают портландцементный клинкер. То есть любой цементный завод может уже сейчас получать активную минеральную добавку на основе полученных нами данных. Аналогично с комплексной добавкой – цементные заводы практически всегда строятся возле карбонатных карьеров, то есть дополнительно закупать материалы не нужно. Достаточно выделить небольшую печь для кальцинирования алюмосиликатов. По нашему мнению, перспективы внедрения разработанной низкоуглеродной технологии очень позитивные. Думаю, что к 2030 году доля композиционных цемента на строительном рынке значительно возрастет. В настоящее же время, основная доля приходится на потребление и производство, соответственно, бездобавочного цемента – почти 70 % от общего выпуска всех видов цемента, что связано со страхом использования малоизученных методик и возможной нестабильности многокомпонентных цемента в бетонной промышленности.

Поэтому, в первую очередь, будем убеждать именно бетонщиков в целесообразности и перспективности использования низкоуглеродных цементов.

По десятому вопросу соискатель пояснила, что в Швейцарии создан целый университет под руководством Карен Скривенер, где изучаются комплексные добавки для создания низкоуглеродных цементов.

На одиннадцатый вопрос соискатель ответила, что в Индии модернизировали завод под производство композиционных низкоуглеродных цементов. Два года назад получили опытно-промышленные партии такого цемента, в котором портландцементный клинкер был замещен до 50 % на термообработанные каолининовые глины в комплексе с известняком. Позже из таких цементов в Индии начали строить здания и сооружения, физико-механические показатели у них очень хорошие.

Выбор каолининовых глин обусловлен их доступностью в том регионе. А наше исследование как раз направлено на расширение сырьевой базы алюмосиликатов, так как запасы каолининовых глин строго ограничены. Мы адаптировали технологию под российское производство и доказали, что наши смешаннослойные глины, отличные от каолининовых, также представляют интерес и из них можно получать высокоактивные минеральные добавки.

Но эта тема все еще остается малоизученной, ведь жизненный цикл здания из низкоуглеродного цемента изучен пока лишь в течение 2-3 лет, необходимо больше времени, чтобы удостовериться в надежности таких конструкций.

За двенадцатый вопрос соискатель поблагодарила члена диссертационного совета и пояснила, что существующие другие минеральные добавки – шлак, зола-унос, микрокремнезем, опока, используются, конечно же, но очень ограниченно. Потому что все эти добавки производить цементный завод самостоятельно не может, он вынужден закупать их, а это дорого. А вот чтобы использовать алюмосиликат с собственного карьера, нужно знать, как правильно его термообработать, при каких условиях. И только тогда мы получаем активную минеральную добавку, из которой можно получить прочный кондиционный цемент.

Метакаолин не используют в массовом производстве, как я сказала, из-за высокой стоимости. Невыгодно его закупать. Остальные добавки – причина та же, пусть они и дешевле метакаолина, но все-таки дорого. Ну, и последняя причина – в малой используемости общеизвестных активных минеральных добавок – производители бетона. Ведь они являются основными потребителями цемента. Тот же цемент с метакаолином настораживает потребителей, ведь у него высокая водопотребность, а, значит, и высокая пористость впоследствии. Значит, нужно вводить больше пластификаторов в бетонную смесь, а это опять повышает стоимость готовой продукции.

А вот разработанные нами термообработанные алюмосиликаты находятся в прямой доступности от цементного завода, дополнительно закупать ничего не нужно. Это быстро, дешево и надежно! И, как я сказала ранее, хоть глины и требуют предварительной пробоподготовки, их применение в качестве замены

клинкера, все еще экономически более выгодный процесс, чем производство цемента, состоящего из 100 % клинкера. Поэтому перспективы очень хорошие! И не стоит забывать про экологическую повестку данного вопроса.

В заключении следует сказать, что активность термоактивированных глин выше, чем активность метакеолина. Главное – правильно обработать. И водопотребность цемента они повышают в меньшей степени, чем метакеолин. А значит, для производителей бетона, опять-таки, это более перспективное направление, чем использование шлака или микрокремнезема, например.

Ответ на *тринадцатый вопрос* соискатель аргументировала тем, что дополнительно образующиеся гидратные фазы уплотняют структуру цемента, то есть снижают пористость и повышают плотность, отсюда и выше сопротивляемость перепаду температур.

С *четырнадцатым вопросом* соискатель согласилась и прокомментировала, что стоило указать срок твердения.

На *пятнадцатый вопрос* соискатель ответила, что на данном слайде хотели продемонстрировать как раз разный механизм активации различных алюмосиликатов, отличие их структуры. При термообработке каолинистая глина, ввиду своей структуры 1:1, практически не меняется с точки зрения удельной поверхности. Над картинками указан индекс изменения удельной поверхности от начального показателя удельной поверхности глины – до термообработки, и при максимальной температуре обжига. Данный масштаб выбран для того, чтобы показать явное различие между глинами.

По *шестнадцатому вопросу* соискатель ответила, что был проведен расчет различных видов погрешностей, в том числе, была проведена статистическая обработка данных – по нашему мнению, так представлять данные по удельной поверхности допустимо. Ошибки нет.

По *семнадцатому вопросу* соискатель пояснила, что фазовый состав оценивали и рентгенографическим методом. Количественный рентгенофазовый анализ выполняли на дифрактометре D2 Phaser в Центре коллективного пользования имени Д.И. Менделеева, который позволил установить минералогический состав материалов. Кроме того, фазовый состав анализировали на рентгенофлуоресцентном спектрометре S8 Tiger немецкого производства, что позволило проанализировать химический состав вещества, включая содержание хлор-иона с точностью до сотых. Приборная точность именно такая, поэтому представлены такие данные. Возможно, стоило все-таки округлить полученные значения.

На заседании «18» декабря 2025 года диссертационный совет за новые научно-обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для развития страны, а именно – за решение задачи по снижению клинкер-фактора цемента до 0,5, что позволило разработать низкоуглеродные цементные составы, обладающие высокой прочностью, коррозионной стойкостью и морозостойкостью, принял решение присудить Смольской Екатерине Алексеевне ученую степень кандидата технических наук.

По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов в части пункта 2 направлений исследований «Силикатные и тугоплавкие неметаллические материалы (СиТНМ): Физико-химические принципы технологии материалов и изделий из СиТНМ, включают стадии подготовки исходных материалов, смешивания и гомогенизации компонентов, формования заготовок или изделий, их упрочнения, высокотемпературных процессов, обработки материалов и изделий для придания им требуемых свойств, формы и размеров. Конструирование изделий и оснастки. Технологические схемы производства материалов и изделий. Ресурсо- и энергосбережение».

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 14 докторов наук по научной специальности 2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 14 (четырнадцать), против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,
доктор химических наук, профессор


Владимир Николаевич Сигаев

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор химических наук, профессор


Ольга Борисовна Петрова

18.12.2025

