

## ОТЗЫВ

официального оппонента

**Аникановой Татьяны Викторовны** на диссертационную работу

Чашина Дмитрия Юрьевича на тему:

«Процессы деструкции цементных систем при термовлажностном воздействии», представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

2.1.5. Строительные материалы и изделия

### **1. Актуальность диссертационной работы**

Автором исследован новый вид коррозии, не описанный в литературе по строительным материалам, но известный в нефтяной и газовой промышленности. Он заключается в том, что при температуре более 45-50 °С цементные системы в течение нескольких месяцев теряют физико-механические свойства вплоть до полного рассыпания в порошок. Наиболее остро эта проблема наблюдается на строительных объектах, где в процессе эксплуатации конструкции может происходить контакт с горячей водой или паром. Подобная агрессивная среда провоцирует необратимое разрушение цементного камня, что приводит к быстрой потере прочности. Очевидно, что без исследования процессов термовлажностной коррозии разработка эффективных методов борьбы с ней невозможна. Соискателем проведены глубокие исследования в этом направлении, опирающиеся на современные положения физико-химии процессов.

Таким образом диссертационная работа, посвященная исследованию процессов деструкции цементных систем при термовлажностном воздействии и разработке способов повышения их стойкости, безусловно, является актуальной и имеет как научное, так и прикладное значение. Тема диссертационной работы полностью соответствует современным тенденциям развития строительного материаловедения, ориентированным на создание долговечных бетонов.

## 2. Структура и содержание диссертации

Диссертация включает введение, шесть глав, заключение, приложения и библиографический список из 152 источников. Общий объем — 175 страниц, иллюстративный ряд представлен 99 рисунками и 25 таблицами. Структура работы логически выстроена и строго соответствует поставленной цели и задачам.

**Во введении** обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи работы, раскрыты научная новизна, теоретическая и прикладная значимость, описана методологическая база, приведены защищаемые положения и данные о достоверности результатов.

**Первая глава** посвящена обзору отечественных и зарубежных работ по проблеме коррозии бетона в условиях повышенных температур и влажности. Проанализированы основные факторы деградации цементного камня и способы повышения стойкости. Показано, что многие вопросы теории и практики этого вида коррозии в строительном материаловедении недостаточно разработаны и слабо освещены в печати.

**Во второй главе** изложены программа исследований, характеристики применяемого сырья и методы испытаний. Особое место занимает разработанный и использованный автором подход к ультразвуковой диагностике кинетики коррозионных процессов. Метод основан на постоянном контроле средней скорости прохождения ультразвукового импульса через образцы, твердевшие при температурах 20 и 80 °С. Достоинством такого подхода является возможность наблюдать не только конечный результат разрушения, но и динамику процесса коррозии во времени.

**В третьей главе** приведены результаты длительного эксперимента по изучению структурно-фазовых изменений цементного камня в горячей воде при 80 °С и в нормальных условиях при 20 °С. Полученные данные показали существенное снижение прочности при сжатии в горячей воде: с 81,2 до 38,3

МПа. Коэффициент стойкости составил 0,47. Автор обоснованно связывает деградацию материала с перекристаллизацией нестабильных коллоидных гидратов и образованием крупных кристаллов  $\alpha$ -гидрата двухкальциевого силиката  $C_2SH(A)$ , обладающего сравнительно низкими вяжущими свойствами. Этот раздел является важным, поскольку демонстрирует механизм разрушения на уровне трансформации фазового состава цементного камня.

**Четвертая глава** посвящена поиску путей повышения термостабильности гидратных новообразований цементной матрицы путем использования кварцевого песка различной крупности и введения минеральных наполнителей. Автор использует комплекс физико-химических и механических методов исследований, анализирует динамику коррозионных процессов с применением ультразвуковой диагностики и показывает влияние кремнеземсодержащих компонентов на развитие коррозии. Механизм коррозии определяется как химическим составом, так и степенью кристалличности, дисперсностью и способностью минеральных компонентов вступать во взаимодействие с продуктами гидратации цемента. Представленные результаты позволяют более дифференцированно оценивать роль минеральных составляющих в обеспечении термовлажностной стойкости.

**В пятой главе** рассматриваются предпосылки повышения стойкости бетонов при использовании заполнителей из кварцитопесчаника и гранита. Особый интерес представляет установленное преимущество кварцитопесчаника, обеспечивающего коэффициент стойкости 1,20–1,32, тогда как для гранита его значение составляет около 0,71. Автор объясняет этот эффект более высокой реакционной способностью кварцитопесчаника связывать  $Ca(OH)_2$  с образованием термостабильных гидросиликатов кальция типа  $CSH(B)$ . Данные ультразвукового мониторинга подтверждают, что процессы рекристаллизации в цементном камне при таком составе развиваются значительно медленнее. В этой же главе выполнено сопоставление эффективности исследованных компонентов, проведено их ранжирование и

сформулированы рекомендации по обеспечению долговечности цементных систем в условиях повышенной температуры и влажности.

**Шестая глава** содержит результаты разработки рациональных составов мелкозернистого бетона повышенной термовлажностной стойкости с применением метода математического планирования эксперимента. На основании построенных моделей автором предложена рецептура мелкозернистого бетона класса В30. Практическая значимость разработки подтверждена получением патента РФ № 2839780. Кроме того, в главе приведена оценка экономического эффекта за счет увеличения безремонтного периода эксплуатации, что повышает прикладную ценность выполненного исследования.

**В заключении** сформулированы аргументированные выводы, даны рекомендации к внедрению, отражено использование результатов в образовательном процессе.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации, а публикации автора исчерпывающе раскрывают ее содержание.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность полученных в диссертационной работе результатов определяется достаточно высоким уровнем аргументации полученных положений, которые согласуются с общепризнанными научными утверждениями и результатами исследований отечественных и зарубежных ученых.

Достоверность результатов подтверждается значительным объемом экспериментальных данных, длительным характером испытаний (2 года), сопоставлением результатов, полученных различными методами, а также использованием современного лабораторного и высокоточного измерительного оборудования. Автор использует современные физико-химические методы

анализа, механические испытания, ультразвуковую диагностику, математическое моделирование и методы идентификации фазового состава цементного камня. Репрезентативность данных подтверждена обширным иллюстративным материалом (схемы, графики, таблицы, микрофотографии).

Следует также отметить, что основные положения работы прошли апробацию на научных конференциях и семинарах, а результаты исследования опубликованы в научных изданиях. Материалы диссертации отражены в 13 публикациях, из них 3 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ и 1 статья в издании, индексируемом Scopus (Q2).

#### **4. Научная новизна**

Соискателем установлены закономерности процессов фазо- и структурообразования в цементной матрице с минеральными заполнителями и наполнителями в условиях повышенной температурно-влажностной нагрузки и на этой основе теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены рекомендации по повышению стойкости цементных систем к термовлажностной коррозии. Разработаны критерии для оценки термовлажностной стойкости бетона и выбора кремнеземсодержащих компонентов. Предложенные критерии имеют важное значение для научно обоснованного проектирования состава термостабильных цементных систем и оценки их стойкости.

Соискатель показывает, что долговечность бетона в условиях контакта с горячей водой или паром может быть существенно повышена при формировании в цементной матрице термостабильных низкоосновных гидросиликатов кальция, образующихся в результате взаимодействия гидроксида кальция цементного камня с минеральными добавками и заполнителями. Соискатель показывает, что с ростом содержания таких фаз замедляются процессы рекристаллизации гидратных новообразований и тем самым снижается риск структурной деградации цементного камня.

Параллельно большое влияние на термостабильность цементной матрицы оказывает интенсивность фазообразования и фазовых превращений, что необходимо учитывать при выборе состава.

Важный элемент научной новизны, содержащийся в диссертационной работе, посвящен влиянию заполнителей на формирование термостабильности цементной матрицы бетона. Доказано, что не только минеральные добавки, но и заполнители вступают в химические реакции с гидроксидом кальция в условиях водотеплового воздействия, что способствует повышению коррозионной стойкости бетона. Наибольшая стойкость (коэффициент  $K_{ст}^{12} = 1,33$ ) достигнута для мелкозернистого бетона на основе кварцитопесчаника, что позволило рекомендовать его как перспективное сырье для коррозионностойких бетонов. Установлено, что в цементной матрице на крупном кварцевом песке деструктивные процессы протекают более интенсивно, чем на мелком, так как четко проявляется разница между активностью крупного и мелкого кварца при повышенных температурах и влажности, что определяет приоритет мелких песков перед крупными.

Заслуживает внимания установленная взаимосвязь между содержанием примесей в виде соединений алюминия в минеральных компонентах и термостабильностью цементной системы. Показано, что при повышенном содержании  $Al_2O_3$  (более 10 %) в отдаленные сроки возможно ускоренное образование гидроалюминатных и гидроалюмосиликатных фаз. Их кристаллизация может сопровождаться возникновением внутренних напряжений и последующим разрушением цементного камня, что подтверждается исследованиями соискателя. Полученная зависимость может быть использована для выбора пород и заполнителей (наполнителей) из них, что позволит избежать длительных и трудоемких испытаний.

Отдельно следует отметить развитие метода ультразвукового мониторинга как инструмента изучения кинетики деструктивных процессов. Соискателем установлена взаимосвязь между динамикой скорости прохождения ультразвукового импульса и соотношением

структурообразующих и деструктивных процессов в цементной системе. Рост скорости отражает преобладание гидратации и пуццолановых реакций, тогда как ее снижение свидетельствует об активизации рекристаллизации, перекристаллизации и накоплении дефектов.

Новым и практически значимым является предложение использовать в качестве дополнительного критерия оценки долговечности относительную скорость ( $\Delta V_{\text{отн}}$ ) УЗ-импульса  $\Delta V = V_t/V_0$ . Этот показатель позволяет оценивать интенсивность фазообразования и фазовых превращений, связанных с взаимодействием кремнеземсодержащих компонентов с известью. Ее оптимальный диапазон на раннем этапе твердения (3–4 мес) составляет 1,04–1,09.

Применение метода ультразвуковой диагностики делает оценку коррозионной стойкости более информативной, поскольку учитывает не только конечную прочность, но и динамику изменения структуры материала во времени.

## **5. Теоретическая и практическая ценность результатов исследований**

Теоретическая значимость диссертации состоит в развитии представлений о механизмах термовлажностной коррозии цементных систем. Соискателем установлена роль минеральных наполнителей и заполнителей в формировании фазового состава цементной матрицы при длительном воздействии горячей воды или пара. Показано, что долговечность бетона определяется не только исходной плотностью и прочностью бетона, но и способностью минеральных кремнеземсодержащих составляющих бетона формировать устойчивые гидросиликаты тоберморитовой группы в процессе эксплуатации, что резко замедляет процессы рекристаллизации.

Практическая значимость работы заключается в применении результатов исследований при проектировании составов цементных бетонов, стойких к комплексному воздействию повышенной температуры и влажности.

Предложенные подходы позволяют рационально выбирать минеральные добавки и заполнители с учетом их состава, химической активности и влияния на фазовый состав цементного камня, а также открывают перспективное направление поиска эффективного минерального сырья, которое будет обеспечивать повышение термостойкости.

Разработан состав мелкозернистого бетона класса В30 повышенной коррозионной стойкости, с применением рационально подобранных заполнителей и наполнителей, что позволяет замедлить процессы термовлажностной деструкции и кратно увеличить ресурс конструкций. Использование местного и промышленного сырья повышает практическую ценность работы.

Особую ценность представляет разработанная соискателем методика коррозионных испытаний посредством ультразвуковой диагностики, использование которой в сочетании с физико-химическими и механическими испытаниями повышает достоверность прогноза долговечности бетона. В качестве критериев оценки термовлажностной стойкости предложено использовать не только прочностные характеристики и коэффициент стойкости, но также среднюю и относительную скорость прохождения ультразвукового импульса, изменение фазового состава.

Практическая значимость подтверждается патентом и экономическим эффектом. На базе проведенных исследований разработан мелкозернистый бетон с повышенной термовлажностной стойкостью, подписан протокол о намерениях по его производству с ООО «ЭрионСтройГрупп».

Следует положительно оценить и внедрение результатов исследования в образовательный процесс. Материалы диссертации используются при чтении курсов «Вяжущие вещества» и «Долговечность строительных конструкций» для студентов бакалавриата и магистратуры по направлению 08.04.01 — Строительство. Это свидетельствует о методической ценности полученных результатов.

## **6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты диссертационной работы целесообразно использовать на предприятиях, выпускающих строительные материалы гидратационного твердения, а также в организациях, занимающихся проектированием и эксплуатацией железобетонных конструкций, работающих в условиях повышенной температуры и влажности. Разработанную методику коррозионных испытаний с использованием ультразвуковой диагностики рекомендуется применять для оценки стойкости цементных композитов и прогнозирования их поведения в эксплуатационных условиях. Это позволит повысить надежность принимаемых технологических решений и более обоснованно подходить к вопросам первичной защиты бетона от термовлажностной коррозии.

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

1. В работе достаточно подробно рассмотрено влияние минеральных добавок и заполнителей на термовлажностную стойкость бетона. Вместе с тем было бы полезно более развернуто обсудить возможное влияние химического и минералогического состава портландцемента, поскольку различные цементы могут заметно отличаться по содержанию  $C_3A$ , щелочей и другим показателям, влияющим на фазовые превращения в условиях действия горячей воды или пара.

2. Метод ультразвуковой диагностики является одним из сильных элементов диссертационного исследования. Однако в дальнейшем представляется целесообразным дополнить его более подробной статистической обработкой результатов, включая оценку разброса данных и чувствительности метода к локальной неоднородности структуры образцов.

3. При оценке долговечности бетона какой показатель является приоритетным: коэффициент термовлажностной стойкости, относительная

скорость ультразвукового импульса или фазовый состав?

4. В автореферате используются термины «рекристаллизация» и «перекристаллизация». Следовало бы четко определить, что автор понимает под каждым из этих понятий.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Они носят преимущественно рекомендательный характер и могут быть учтены автором при дальнейшем развитии исследований.

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

Диссертация Чашина Дмитрия Юрьевича на тему «Процессы деструкции цементных систем при термовлажностном воздействии» посвящена решению актуальной задачи строительного материаловедения — повышению долговечности цементных композитов, эксплуатируемых в условиях одновременного воздействия повышенной температуры и влажности.

Работа имеет выраженную научную новизну, теоретическую значимость и практическую направленность. Полученные результаты могут быть использованы как в научных исследованиях, так и при разработке бетонных составов для ответственных сооружений, работающих в водотепловых условиях. Достоверность выводов подтверждается комплексом экспериментальных методов, длительными испытаниями, ультразвуковым мониторингом, физико-химическим анализом и апробацией результатов.

С учетом актуальности темы, научной новизны, обоснованности выводов и практической значимости результатов диссертационная работа «Процессы деструкции цементных систем при термовлажностном воздействии» соответствует требованиям пунктов 9–14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской

Федерации № 842 от 24.09.2013 г. в действующей редакции, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На основании изложенного Чашин Дмитрий Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5 — Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент:  
кандидат технических наук  
(специальность 05.23.05 —  
«Строительные материалы и  
изделия»), доцент кафедры  
«Архитектурно-строительного  
проектирования и физики среды»  
ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский Московский  
государственный строительный  
университет»

Телефон: +79103696657  
E-mail: anik.tv@yandex.ru

  
Аниканова Татьяна Викторовна  
«24» июня 2026 г.

Адрес: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский  
государственный строительный университет», 129337, Московская область,  
город Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Телефон: +7 (495) 781-99-88

E-mail: [kanz@mgsu.ru](mailto:kanz@mgsu.ru)

Сайт: <https://mgsu.ru>

Личную подпись Аникановой Т.В. заверяю:

  
НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА  
КАДРОВОГО ДЕЛОПРОИЗ-  
ВОДСТВА УРП  
А.В. ПИНЕГИН  
24.06.2026

