

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО «Тамбовский
государственный
технический университет»

д.т.н., профессор



М.Н. Краснянский

2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» на диссертационную работу

Красильникова Игоря Викторовича

«Массоперенос в процессах коррозии бетонов при изменяющихся параметрах агрессивной среды эксплуатации»,

представленную в диссертационный совет 24.2.300.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» к публичной защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Для отзыва представлены автореферат диссертации, копии публикаций соискателя, диссертация, состоящая из введения, 7 глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 418 страницах машинописного текста, содержит 40 таблиц, 125 рисунков и список литературы из 441 наименований.

Актуальность темы исследований

Актуальность темы исследований Красильникова И.В. не вызывает сомнений, так как бетон является самым распространенным строительным материалом для изготовления конструктивных элементов зданий и сооружений, а продление срока эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций позволит строительной отрасли и жилищно-коммунальному хозяйству страны экономить большее количество денежных средств.

В свою очередь увеличения сроков эксплуатации зданий и сооружений, а также снижения расходов по их содержанию невозможно без разработки новых современных методов расчета конструкций, моделирующих изменения их

состояния при воздействии агрессивной окружающей среды, с учетом изменяющихся ее параметров.

Математические модели используются для прогнозирования долговечности бетонов в зависимости от агрессивности среды и описания процессов массопереноса в капиллярно-пористых телах, а также для разработки новых методов по повышению эксплуатационных характеристик композита.

Вопрос о долговечности конструкций из бетона и железобетона, подверженных воздействиям эксплуатационных сред, следует рассматривать не только с точки зрения агрессивного влияния одного или другого вещества, а в зависимости от качественного совокупного и количественного действия всех тех факторов, которые могут вызвать разрушение системы. Решение этих сложных задач автор проводит с позиций теории массопереноса. Процессы массопереноса являются одним из важнейших разделов современной науки и имеют большое практическое значение в строительном материаловедении. Законы массопереноса, общие для всего многообразия природных явлений, дают возможность рационального проектирования строительных конструкций зданий и сооружений в соответствии с режимами эксплуатации, оптимального подбора материала, оценки состояния конструкций.

Все выше изложенное дает основание утверждать, что проблема, сформулированная в диссертации является актуальной с научной и практической точек зрения. Ее решение позволит моделировать жизненный цикл строительных конструкций, учитывая изменение параметров агрессивной среды эксплуатации; рационально, с требуемой периодичностью проводить ремонтно-восстановительные работы; экономически обоснованно назначать средства защиты от коррозии и устанавливать оптимальные сроки их применения; более рационально подходить к проектированию, оптимизируя структуру конструкции; повысить уровень безопасности эксплуатации.

Структура и содержание работы

Во введении автором обоснована актуальность решаемой в диссертации научной проблемы, определены направления исследований, сформулированы научная гипотеза и цель работы, поставлены задачи исследования, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, степень достоверности, публикации и апробация результатов.

В первой главе выполнен литературный обзор, описывающий виды и механизмы развития коррозии бетона, проанализированы существующие модели и методы оценки долговечности бетона, указаны их ограничения, принятые допущения и недостатки. Предложена структурно-методологическая схема исследований, базирующаяся на последовательной идентификации и выявлении

наиболее принципиальных отличий условий эксплуатации, влияющих на процессы массопереноса при эксплуатации конструкции.

Во второй главе систематизированы факторы, определяющих физико-химические явления массопереноса в структуре бетона при воздействии на него агрессивной окружающей среды. Формулируется новый подход к моделированию физико-химических гетерогенных процессов нестационарного массопереноса при коррозии бетона в агрессивной среде с изменяющимися параметрами, основанный на методе микропроцессов.

В третьей главе рассмотрены физико-математические модели нестационарного взаимосвязанного массопереноса свободного гидроксида кальция и агрессивных компонентов для системы «цементный бетон – воздушная агрессивная среда» с изменяющимися параметрами агрессивной среды эксплуатации. Массоперенос в структуре конструкции, при воздействии агрессивных веществ воздуха автором рассмотрен по трем расчетным схемам: односторонний, двусторонний симметричный и двусторонний асимметричный. Для каждой расчетной схемы на рассматриваемом микропроцессе получено по два варианта аналитического решения распределения массосодержаний по толщине конструкции целевого и агрессивного компонентов (при больших и малых значениях массообменного критерия Фурье).

В четвертой главе рассмотрены физико-математические модели нестационарного взаимосвязанного массопереноса свободного гидроксида кальция и агрессивных компонентов для системы «цементный бетон – жидкая агрессивная среда» с изменяющимися параметрами агрессивной среды эксплуатации. Для жидкостной коррозии цементных бетонов показано, что наряду с химическими реакциями гидроксида кальция и агрессивных компонентов в капиллярно-пористой структуре бетона, массоперенос лимитируется внутренней диффузией и внешней массоотдачей. Отдельно изучен массоперенос свободного гидроксида кальция в процессах коррозии бетона для замкнутой системы «емкостное железобетонное сооружение – жидкая агрессивная среда».

В пятой главе синтезирована модель нестационарного массопереноса целевого и агрессивного компонентов в капиллярно-пористой структуре бетона для конструкций, эксплуатируемых в среде с переменными потенциалами и коэффициентами переноса. Автором разработан новый подход к решению нелинейной краевой задачи нестационарного массопереноса дополняющий численно-аналитический метод микропроцессов дополнительным разделением конструкции на участки условно-постоянного коэффициента массопроводности. Применение данного подхода значительно повышает точность расчетов динамики и кинетики нестационарных массообменных процессов для систем «жидкая

агрессивная среда –цементный бетон», «воздушная агрессивная среда – цементный бетон», «жидкая агрессивная среда – нарастающая биопленка – цементный бетон».

В шестой главе излагаются приведены результаты физико-химических исследований жидкой и твердой фаз, при различной температуре среды эксплуатации, позволяющие судить об изменениях, происшедших в цементном камне вследствие воздействия реакционной среды. При проведении испытаний применялся «Прибор для исследования процессов коррозии строительных материалов», разработанный в рамках научной школы научного консультанта Красильникова И.В. - академика РААСН Федосова С.В. Дополнительно исследованы коррозия цементного камня в водном растворе соляной кислоты и особенности массопереноса в системе «гидрофобизированный цементный камень - водный раствор хлорида магния». Для всех рассматриваемых систем определены коэффициенты массопроводности и массоотдачи, интенсивности объемного выделения (поглощения) свободного гидроксида кальция. Разработан метод определения массообменных характеристик цементных бетонов, с учетом перенасыщенности раствора пор гидроксидом кальция.

В седьмой главе представлена реализация результатов теоретических и экспериментальных исследований при проектировании промышленных объектов (монолитного железобетонного резервуара для пожаротушения, железобетонной башенной градирни, конструкций перекрытия отбельного цеха отделочного производства тканей). Разработаны и обоснованы рекомендации рационального проектирования бетонных и железобетонных конструкций, подверженных при эксплуатации воздействию агрессивной среды с изменяющимися параметрами.

В конце каждой главы приведено заключение, в котором сформулированы основные положения и аргументированные выводы, сделанные автором на основе анализа результатов исследований, полученных зависимостей и закономерностей.

В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования. Уделено внимание внедрению практических рекомендаций в инженерные расчеты по долговечности бетонных и железобетонных конструкций.

Все разработанные модели массопереноса в процессах коррозии бетонов при изменяющихся параметрах агрессивной среды эксплуатации сопровождаются обширными численными экспериментами, показывающими влияние параметров процесса на динамику и кинетику коррозии цементных бетонов, а их адекватность подтверждается верификацией с высокой степенью сходимости модельных результатов с экспериментальными.

Научная новизна результатов работы

Соискателем обоснована и разработана методология математического моделирования физико-химических явлений массопереноса для прогнозирования

и оценки долговечности бетонов, эксплуатируемых в агрессивных средах с изменяющимися параметрами.

Предложен комбинированный подход к моделированию массопереноса в процессах коррозии бетонов при изменяющихся параметрах агрессивной среды эксплуатации основанный на сочетании аналитического метода интегрального преобразования Лапласа и численных методов анализа микропроцессов. При моделировании нестационарного массопереноса в процессах коррозии бетонов при изменяющихся параметрах агрессивной среды эксплуатации, предложено разбить жизненный цикл конструкции на небольшие временные интервалы с постоянными параметрами процесса.

В рамках предложенного подхода разработаны математические модели нестационарного взаимосвязанного массопереноса в процессах коррозии для систем «цементный бетон – воздушная агрессивная среда» и «цементный бетон – жидкая агрессивная среда» с изменяющимися параметрами агрессивной среды эксплуатации, необходимые для оценки долговечности железобетонных конструкций, эксплуатируемых в газовых и жидких средах.

Отдельно изучен нестационарный массоперенос свободного гидроксида кальция в замкнутой системе «емкостное железобетонное сооружение – жидкая агрессивная среда» при жидкостной коррозии цементных бетонов, с учетом наличия объемных источников выделения (поглощения) свободного гидроксида кальция в условиях ограниченного объема жидкости. Получены аналитические решения задачи нестационарного массопереноса в условиях ограниченного объема жидкости, позволяющие рассчитывать распределение массосодержаний по толщине бетонной стенки емкостного сооружения и концентрацию растворенного гидроксида кальция в жидкости, тем самым прогнозировать динамику и кинетику деструктивных процессов железобетонных конструкций при жидкостной коррозии.

Красильниковым И.В. предложена методология расчета динамики и кинетики нестационарных массообменных процессов, при различных видах коррозии (жидкостная, газовая, биологическая и др.), в среде с переменными потенциалами и коэффициентами переноса по толщине конструкции, синтезированная из методов микропроцессов, зонального и интегрального преобразования Лапласа.

Для нестационарного массопереноса в гетерогенных системах коррозии «жидкая агрессивная среда – цементный бетон», «воздушная агрессивная среда – цементный бетон», «жидкая агрессивная среда – нарастающая биопленка – цементный бетон» аналитически и графически установлены кинетические зависимости потоков переносимых компонентов (гидроксида кальция и агрессивных веществ), которые позволяют прогнозировать и оценивать по

критическим концентрациям время начала гидролиза высокоосновных соединений цементного камня и достижения агрессивным компонентом поверхности арматуры железобетонных конструкций.

Разработана новая методика определения параметров массообменных процессов при взаимодействии бетона с различными агрессивными средами, с помощью которой из результатов проведенных экспериментальных исследований установлены эмпирические законы изменения коэффициентов массопроводности, массоотдачи, интенсивности внутреннего источника массы, параметров равновесия на границе раздела твердой и жидкой фаз, в зависимости от массосодержания свободного гидроксида кальция и температуры.

Предложено оптимизировать структуру железобетонных конструкций, используя бетоны низкой проницаемости только защитном слое, находящемся в контакте с агрессивной средой. Предложенная автором математическая модель позволяет проводить расчеты диффузии целевого компонента при неоднородной структуре бетона конструкции. Выполненные расчеты показывают значительное снижение интенсивности процессов коррозии при использовании бетонов низкой проницаемости только защитном слое и экономическую эффективность предложенной оптимизации.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Теоретическая и практическая значимость работы определяется ее востребованностью и завершенностью. Представленные в диссертационном исследовании Красильникова И.В. физико-математические модели нестационарного массопереноса целевого (свободного гидроксида кальция) и агрессивного компонентов при взаимодействии бетона с газовой, жидкой и биологически активной агрессивными средами, с учетом изменяющихся в процессе эксплуатации параметров среды и характеристик бетона, которые позволяют прогнозировать изменение массосодержаний по толщине конструкции на протяжении жизненного цикла. Результаты такого моделирования необходимы для определения времени достижения в определенных зонах конструкции критических массосодержаний, соответствующие началу диссоциации высокоосновных минералов цементного камня, либо депассивации стальной арматуры, оценке уменьшения механических характеристик бетона.

Предложенный автором комбинированный подход к решению нелинейной краевой задачи нестационарного массопереноса в среде с переменными потенциалами основанный на сочетании аналитического метода интегрального преобразования Лапласа и численных методов анализа микропроцессов является базой для последующего теоретического анализа явлений диффузии в

коллоидных капиллярно-пористых телах при изменяющихся массообменных свойствах материала и потенциалах переноса.

Практическая значимость состоит в создании алгоритмов расчета, основанных на разработанных математических моделях долговечности бетона строительных конструкций, рекомендациях по совершенствованию и оптимизации существующих методов повышения коррозионной стойкости и долговечности бетонных и железобетонных конструкций.

Разработанные автором диссертации научные исследования нашли свое практическое применение и внедрены при проведении промышленной экспертизы на ОАО Череповецкий «Аммофос» и ООО «Балаковские минеральные удобрения», а также применялись при проведении обследований, капитальных ремонтов и реконструкциях, а также при проектировании новых зданий и сооружений, проводимых ЗАО «Творческая мастерская «Ивремстрой», ООО «ИСО-Инжиниринг», ООО «Геопроект».

Рекомендации, основанные на основных результатах исследования, применены для повышения коррозионной стойкости выпускаемых железобетонных изделий и конструкций АО «Железобетон» (г. Иваново) и позволили разработать эффективные мероприятия по обеспечению долговечности и защите бетонных и железобетонных конструкций от коррозии; оптимизировать структуру железобетонных конструкций, не снижая их долговечности уменьшить себестоимость.

Достоверность и обоснованность результатов, выводов и рекомендаций

Достоверность и обоснованность результатов, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждается применением фундаментальных положений теории тепломассопереноса, методов математического и физического моделирования, обеспечена соответствием использованных научных методов исследования поставленным задачам, большим объемом экспериментальных данных, полученных на основе современных и апробированных методов и методик исследований, испытаниями необходимого количества образцов, согласованностью полученных теоретических и экспериментальных результатов в пределах допустимой погрешности, согласованностью с данными исследований других авторов, а также широкой апробацией полученных результатов исследований и выводов на ряде научно-технических конференций различного уровня.

Рекомендации по практическому применению результатов работы

Результаты диссертационного исследования Красильникова И.В. могут быть использованы в инженерной практике создания имитационных моделей жизненного цикла объектов строительства на этапах проектирования и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций, в организациях и на

предприятиях, проектирующих, изготавливающих и эксплуатирующих конструкции из бетона и железобетона.

Замечания по диссертационной работе

1. В тексте диссертации и автореферата отсутствует описание области применения разработанных математических моделей.

2. Главы 3, 4 и 5 диссертации содержат обширные численные эксперименты по разработанным математическим моделям, однако ни в тексте диссертации, ни в тексте автореферата четко не описана процедура по которой необходимо производить расчеты динамики и кинетики процесса по полученным решениям.

3. В практической значимости работы указан экономический эффект. Однако в тексте диссертации и материалах по практической реализации результатов работы не приведено экономическое обоснование.

4. Действие агрессивных частиц (хлоридов, сульфатов) в большинстве случаев сопровождается карбонизацией, в воздушной среде зачастую содержится смесь газов, микроорганизмами выделяется смесь органических кислот и неорганических продуктов жизнедеятельности. При составлении уравнений и проведении расчетов необходимо принимать во внимание синергетический эффект или подавляющее действие агрессивных веществ.

5. Реализацию предложенных автором математических моделей необходимо дополнить разработкой программных средств.

Приведенные замечания не снижают положительной оценки диссертационной работы, а носят рекомендательный характер.

Заключение о соответствии диссертации и автореферата требованиям Положения о присуждении ученых степеней

По содержанию диссертационная работа Красильникова И.В. является завершенной научно-квалификационной работой, которая обладает научной новизной и достоверностью результатов исследований, имеет теоретическую и практическую ценность, выполнена на достаточно высоком научном уровне.

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в опубликованных научных работах, а результаты научно-исследовательской работы внедрены в производство и применяются при проектировании капитального ремонта и нового строительства зданий и сооружений.

Промежуточные этапы исследования широко обсуждались на научных конференциях, семинарах, круглых столах и форумах различных уровней, что позволяет судить о достаточно высоком уровне и степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Основные положения работы прошли широкую апробацию. Все основные результаты диссертации, выносимые автором на защиту, опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, внесенных в перечень журналов и изданий, утвержденных ВАК РФ. По теме диссертации опубликовано 97 работ, в том числе 9 статей в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus; 26 научных статей в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ; опубликована 1 монография.

Диссертация написана хорошим литературным языком, в соответствии с нормативными требованиями к оформлению.

Содержание автореферата полностью соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ и материалам, изложенным в диссертационной работе.

По тематике, предмету, научной новизне и методам исследования диссертация Красильникова Игоря Викторовича соответствует паспорту специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия, в том числе направлениям исследований: «2. Разработка математических моделей физико-механических, физико-химических, биологических, гидромеханических и тепломассообменных процессов, оптимизирующих параметры структуры, режимы изготовления и свойства строительных материалов и изделий. 4. Разработка и развитие теории формирования прочности и разрушения композиционных строительных материалов под действием различных эксплуатационных факторов. 10. Разработка новых и совершенствование существующих методов повышения стойкости строительных материалов, изделий и конструкций в условиях воздействия физических, химических и биологических агрессивных сред на всех этапах жизненного цикла. 11. Разработка методов прогнозирования и оценки долговечности строительных материалов и изделий в заданных условиях эксплуатации».


В диссертационной работе Красильникова Игоря Викторовича получены новые значимые для строительной отрасли данные и результаты исследований. В диссертации содержатся предлагаемые автором технические решения, обладающие научной новизной и практической значимостью. Личный вклад соискателя в получении достоверных научных данных не вызывает сомнений. Содержание диссертации изложено грамотным техническим языком, графический материал соответствует требованиям техническим требованиям.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертация Красильникова Игоря Викторовича, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой разработаны теоретические и экспериментальные модели, направленные на прогнозирования и оценку надежности и долговечности бетонов, оптимизацию структуры конструкций эксплуатируемых в жидких, газообразных и биологически активных агрессивных

средах с изменяющимися параметрами, на основе которых изложены новые научно обоснованные технологические решения, что вносит значительный вклад в развитие отрасли строительства и жилищно-коммунального хозяйства страны, полностью отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

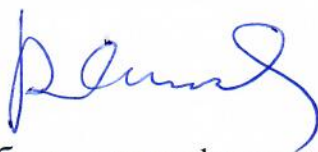
Отзыв подготовили:

Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук (специальность 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения), доцент, директор Института архитектуры, строительства и транспорта, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»



Монастырев Павел Владиславович

Профессор, доктор технических наук (специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия), профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»



Ярцев Виктор Петрович

Диссертационная работа, автореферат, отзыв на диссертацию рассмотрены, обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Конструкции зданий и сооружений» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», протокол заседания кафедры № 6 от «25» января 2024 г. Присутствовали на заседании 11 человек; проголосовали «за» - 11, «воздержались» - 0.

Заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «ТГТУ», к.т.н., доцент



Умнова Ольга Владимировна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».

почтовый адрес: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д.106/5, помещение 2,

адрес официального сайта в сети «Интернет»: www.tstu.ru

Тел.: +7 (4752) 63-10-19. E-mail: tstu@admin.tstu.ru