

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Леоновича Сергея Николаевича на диссертационную работу Коноваловой В.С. на тему: «Методологические принципы повышения долговечности армированных бетонов, эксплуатирующихся в жидких хлоридсодержащих средах», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия

Актуальность темы диссертации

Преждевременные крупномасштабные повреждения железобетонных изделий и сооружений под воздействием окружающей среды свидетельствуют о необходимости в пересмотре традиционных подходов к обеспечению долговечности бетона. На долговечность изделий и сооружений из железобетона влияет множество различных по природе факторов, поэтому нужно принимать во внимание не только прочностные показатели бетона.

Многие исследования посвящены изучению деструкции железобетона под воздействием различных сред, прогнозированию сроков службы железобетонных изделий и конструкций, разработке и совершенствованию методов защиты бетона и стальной арматуры от коррозии. При оценке актуальности диссертационной работы важно знать не только о самой проблеме, но и что нового предполагает внести в ее решение автор. Автором выдвинута гипотеза, что моделирование процессов массопереноса при коррозии железобетона, с учетом естественной и искусственной кольматации пор цементного камня, на основе экспериментально полученных представлений о физико-химическом взаимодействии компонентов цементного камня и стальной арматуры с хлорид-ионами позволяет более точно и однозначно оценить долговечность железобетонных изделий в условиях воздействия жидких хлоридсодержащих сред. Автором предложен методологический подход для прогнозирования продолжительности периодов коррозионных повреждений железобетона при жидкостной коррозии в хлоридсодержащих средах, основанный на использовании математической

модели коррозии второго вида бетона, разработанной научной школой академика РААСН С.В. Федосова, учитывающей внутренний источник массы компонента «свободного гидроксида кальция» и химические реакции, происходящие в процессе массопереноса. В диссертационном исследовании отдельно рассматриваются основные физические и химические механизмы хлоридной коррозии, которые угрожают долговечности бетона, и предлагаются доступные варианты достижения надлежащей долговечности с акцентом на подходы, предусмотренные стандартами. В нем также представлены процедуры оценки долговечности и испытания железобетонных изделий, а также методы предотвращения коррозионной деструкции.

Все вышеизложенное дает основание утверждать, что научная проблема, сформулированная в диссертации, является актуальной. Автор справился с ее решением, что в дальнейшем позволит объективнее оценивать техническое состояние зданий и сооружений, более рационально подходить к проектированию, снизить затраты на эксплуатацию объектов, повысить уровень безопасности жизнедеятельности.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, 14 приложений; изложена на 342 страницах машинописного текста, содержит 114 рисунков, 25 таблиц и список литературы из 654 наименований.

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

Целью диссертационной работы Коноваловой В.С. является установление методологических принципов прогнозирования скорости и степени коррозионного повреждения бетона и стальной арматуры железобетона в жидких хлоридсодержащих средах различной степени агрессивности с применением математического моделирования для разработки методов и рекомендаций по повышению коррозионной стойкости и долговечности железобетонных изделий.

Для достижения поставленной цели в диссертации поставлены и решены следующие задачи:

1. Изучить процессы массопереноса, протекающие при коррозии бетона в жидких хлоридсодержащих средах различной степени агрессивности, определить параметры этих процессов (коэффициенты массопроводности и массоотдачи).

2. Установить влияние температурного фактора и водопроницаемости бетона на скорость массообменных процессов, протекающих при коррозии бетона в жидких хлоридсодержащих средах различной степени агрессивности.

3. Исследовать механизм подвода агрессивной среды к поверхности арматуры в бетоне, установить сроки достижений предельной концентрации хлорид-ионов у поверхности стали, необходимой для начала развития коррозионных процессов.

4. Экспериментально изучить электрохимическую коррозию стальной арматуры в бетоне в условиях воздействия жидких хлоридсодержащих сред различной степени агрессивности.

5. С помощью математической модели коррозии второго вида цементного бетона спрогнозировать сроки службы железобетона в условиях хлоридной коррозии в жидких средах и провести апробацию экспериментальным исследованием степени повреждения железобетона.

6. Разработать рекомендации по объемной гидрофобизации цементного камня бетона для снижения скорости коррозионной деструкции и повышения долговечности при коррозии в жидких хлоридсодержащих средах различной степени агрессивности.

7. Предложить методику защиты поверхности стальной арматуры железобетона фосфатными покрытиями, осаждаемыми из модифицированных растворов фосфатирования холодным способом.

8. Изучить ингибирующее действие нитратов щелочных и щелочно-земельных металлов на скорость электрохимической коррозии арматурной стали, протекающей в хлоридсодержащих средах.

Коноваловой В.С. сформулированы и разработаны следующие научные положения, позволяющие достигнуть поставленную цель:

- предложен методологический подход для прогнозирования продолжительности периодов коррозионных повреждений железобетона при жидкостной коррозии в хлоридсодержащих средах, основанный на использовании математической модели коррозии второго вида бетона, разработанной научной школой академика РААСН С.В. Федосова, учитывающей внутренний источник массы компонента «свободного гидроксида кальция» и химические реакции, происходящие в процессе массопереноса. Методологический подход повышает точность прогнозирования продолжительности периодов коррозии и учитывает взаимодействия между составляющими системы «бетон – стальная арматура», что позволяет корректировать проектные и эксплуатационные решения, связанные с повышением долговечности железобетонных изделий в условиях воздействия хлоридсодержащих сред;

- получены профили концентраций хлорид-ионов и гидроксида кальция в поровой структуре цементного камня с помощью мониторинга диффузии этих компонентов, позволяющие определять основные параметры протекающих процессов массопереноса (коэффициенты массопроводности и массоотдачи) и прогнозировать временные интервалы обеспечения сохранности арматуры бетоном в различных хлоридсодержащих средах различной степени агрессивности на любом этапе эксплуатации железобетонного изделия. Сроки накопления критического количества хлоридов у поверхности стальной арматуры: 331 сутки для случая коррозии железобетона в растворе HCl с pH = 5; 210 суток – для 0,1 %-ого раствора CaCl₂; 174 суток – для 2 %-ого раствора MgCl₂; для случая коррозии железобетона при температуре 6 °С: 1513 суток (4 года и 2 месяца) в растворе HCl с pH = 5; 939 суток (2 года и 7 месяцев) в 0,1 %-ом растворе CaCl₂; 540 суток (1 год и 6 месяцев) в 2 %-ом растворе MgCl₂. В гидрофобизированных бетонах марок по водонепроницаемости W10 и W16 в 2 %-ом растворе MgCl₂ коррозионные процессы инициируются на поверхности арматурной стали через 8 и 10,5 лет соответственно;

- установлена степень коррозионного повреждения бетона при хлоридной коррозии, выраженная в глубине разрушения на различных сроках

эксплуатации, изменении физико-механических характеристик и структурно-фазового состава цементного камня; установленные взаимосвязи позволяют проводить оценку коррозионной деструкции бетона без разрушающих методов контроля. Глубина повреждения бетона через 2 года коррозионного воздействия составит 2,5-3 мм, а после 10 лет достигнет 8-9 мм. Прогноз состояния бетона через 50 лет эксплуатации в хлоридсодержащих средах показывает, что коррозионные повреждения распространятся на 2 см, что может привести к трещинообразованию на поверхности бетона. Для достижения глубины повреждения около 3 мм в гидрофобизированных образцах потребуется примерно 20 лет, а через 50 лет глубина повреждения составит 5-6 мм;

- доказано влияние естественной (продуктами коррозии) и искусственной (при объемной гидрофобизации стеаратом кальция на стадии изготовления) кольматации пор цементного камня на скорость массообменных процессов и прогнозируемую долговечность цементных бетонов при коррозии в жидких хлоридсодержащих средах различной степени агрессивности. С использованием разработанной в рамках научной школы академика РААСН С.В. Федосова модели кольматации определены скорость распространения фронта кольматации и толщина кольматирующего поры слоя продуктов коррозии в цементном камне. Разработаны рекомендации по гидрофобизации бетона добавками стеарата кальция на основе полученных представлений об использовании кольматации пор для предотвращения поступления агрессивных веществ в цементный камень;

- установлены сроки начала развития коррозионных процессов на поверхности стали и периоды перехода коррозии в активное состояние, позволяющие устанавливать необходимость обеспечения антикоррозионной защиты стальной арматуры. Сроки начала смещения потенциала поверхности стальной арматуры в коррозионную область: 6 месяцев – в случае 2 %-ого раствора $MgCl_2$, 7 месяцев – в случае 0,1 %-ого раствора $CaCl_2$, 12 месяцев – в случае раствора HCl с $pH = 5$. В случае коррозии гидрофобизированных бетонов изменения потенциала арматуры зафиксировано не было. На

поверхности арматурных стержней развиваются значительные повреждения с прогнозируемой скоростью коррозии не менее 0,2 мм/год;

- разработаны модифицированные растворы фосфатирования холодным способом для защиты поверхности стальной арматуры фосфатными покрытиями, содержащие в качестве основного компонента препарат «Мажеф», а также глюкозу или глицерин, трилон А или трилон Б и омывающие препараты марки ОП. При обработке поверхности стали значительно снижено шламовыделение, образуются мелкокристаллические фосфатные пленки, обладающие хорошими защитными свойствами. В случае нарушения сплошности бетонного покрытия и поступления жидкой хлоридсодержащей среды непосредственно к поверхности арматуры защитные свойства фосфатных пленок сохраняются в течение 2 месяцев. Стальная арматура корродирует в 3,7 раза медленнее при нанесении на поверхность защитного покрытия из раствора фосфатирования, содержащего модификаторы;

- предложены и научно обоснованы рекомендации по ингибированию коррозии стальной арматуры в бетоне в условиях хлоридной коррозии нитратами щелочных и щелочно-земельных металлов; показано, что добавки нитратов металлов не влияют на массообменные процессы и коррозию бетона на начальном этапе воздействия агрессивных сред, но препятствуют взаимодействию с металлической арматурой хлорид-ионов, поступающих к ее поверхности через бетон. Нитраты металлов, вводимые в бетон при изготовлении в качестве ингибиторов коррозии, снижают потерю им прочности при жидкостной коррозии в 1,3-1,6 раз в зависимости от степени агрессивности хлоридсодержащей среды. Анодное растворение арматуры из стали марки Ст3 в присутствии этих добавок в коррозионной среде высокой степени агрессивности понижается в 1,5 раза.

Для решения поставленных задач автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Коноваловой В.С. изучены и критически анализируются известные экспериментальные и теоретические достижения других авторов по вопросам коррозионной деструкции цементных бетонов и

изменения эксплуатационных характеристик системы «цементный бетон – стальная арматура».

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечена:

- проведением исследований с использованием современных физических, физико-химических и химических методов анализа; применением методик, регламентированных действующими стандартами; применением поверенного оборудования и математической обработки данных;

- соответствием полученных представлений о коррозионной деструкции системы «цементный бетон – стальная арматура» под воздействием жидких хлоридсодержащих сред и полученных экспериментальных данных физико-химическим представлениям о реальной картине процесса коррозионной деструкции цементных бетонов и результатам ранее проведенных исследований других авторов;

- успешным внедрением результатов исследований в деятельность компаний ООО «Базовый инжиниринг» (г. Иваново), ООО «Научно-производственное предприятие ЭНЕРГОСЕРВИС» (г. Ростов-на-Дону), ООО «Мераком» (г. Москва), ООО «ХолодБизнесГрупп» (г. Ростов-на-Дону), ООО «Омега-строй» (г. Южно-Сахалинск), ООО «Сахалинстойинвест» (г. Южно-Сахалинск), ООО «Вира-96» (г. Южно-Сахалинск).

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных диссертантом теоретических положений подтверждается большим объемом экспериментальных результатов, которые согласованы с известными научными теориями процессов коррозии. Следует так же отметить четкость и логичность при изложении материала диссертационной работы. Диссертация и автореферат изложены хорошим научным языком с малым содержанием опечаток и орфографических ошибок. Хочется отметить, автор сделал обширный литературный обзор, список литературы насчитывает 654 наименования.

Главным практическим результатом диссертационной работы является разработка инженерного метода управления коррозионной деструкцией цементных бетонов посредством влияния на скорость протекания массообменных процессов естественной и искусственной кольматацией пор цементного камня для условий воздействия на них жидких хлоридсодержащих сред различной степени агрессивности.

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе имеется ряд замечаний.

1. В жидких хлоридсодержащих средах, например, морской воде, присутствуют не только хлориды, но также растворенные углекислый газ и кислород. Эти растворенные вещества также вступают во взаимодействие с бетоном и стальной арматурой. Следовало бы также рассмотреть синергетический эффект действия компонентов агрессивной среды на систему «бетон – стальная арматура», поскольку в реальных условиях эксплуатации железобетона карбонизация и хлоридная коррозия сопутствуют и дополняют друг друга.

2. В диссертационном исследовании показано влияние жидких хлоридсодержащих сред на изменение прочности на сжатие бетона. Немаловажным также является сцепление стальной арматуры с бетоном, которое ухудшается в результате коррозионного повреждения бетона и накопления продуктов коррозии у поверхности арматуры. Этому параметру не было уделено внимания в работе.

3. Результаты проведенного математического моделирования представлены в виде расчетных данных и графических зависимостей. Однако в главе 2, посвященной описанию методов и методик исследований, отсутствует информация об используемых для обработки данных информационных технологиях и прикладных программах. Были ли это программы Mathcad, MATLAB и т.п., или применялись специальные прикладные пакеты?

4. Каков механизм защиты стальной поверхности фосфатными покрытиями? Чем обуславливается нарушение пассивности при коррозии стальной арматуры с фосфатной пленкой? Разрушают ли хлорид-ионы фосфатное покрытие посредством химического взаимодействия, или происходит их воздействие на сталь в порах покрытия? Будут ли фосфатные покрытия инертны к другим веществам, проникающим к поверхности арматуры через бетон (сульфатам, углекислоте, сероводороду, различным модифицирующим добавкам)?

5. Какова экономическая эффективность от разработанных рекомендаций по объемной гидрофобизации и введению в цементную смесь ингибиторов коррозии, а также от защиты поверхности стальной арматуры фосфатными покрытиями?

Заключение о соответствии диссертации критериям, «Положению о порядке присуждения ученой степени»

Актуальность, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы Коноваловой В.С. несомненны. Полученные результаты соответствуют уровню докторской диссертации по рассматриваемой специальности. Несмотря на приведенные выше замечания, считаю, что они в итоге не оказывают решающего влияния на положительную оценку работы, которая вносит вклад в научные основы процессов коррозии и антикоррозионной защиты строительных материалов.

Автореферат составлен с соблюдением установленных требований, его содержание соответствует основным положениям диссертации. Результаты проведенных исследований нашли отражение в том числе в изданиях, включенных в международные базы цитирования Web of Science и Scopus, опубликованы 19 статей; в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, опубликованы 15 статей; прошли апробацию – были доложены на международных и всероссийских научных конференциях.

Проведенный анализ диссертационной работы Коноваловой Виктории Сергеевны позволяет сделать вывод о том, что она соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого

Правительством РФ 24.09.2013г. № 842, предъявляемым к докторским (кандидатским) диссертациям, является законченной научно-квалификационной работой, в которой научно обоснованы методологический подход и инженерная методика установления степени повреждения железобетона и прогнозирования продолжительности периодов коррозионных повреждений при жидкостной коррозии в хлоридсодержащих средах с применением методов математического моделирования процессов массопереноса; установлены параметры и механизмы повреждения железобетона в результате воздействия хлоридных сред с учетом закономерностей процессов массопереноса; разработаны рекомендации и методы по защите железобетонных изделий от коррозии и по повышению их долговечности при эксплуатации в хлоридсодержащих средах различной степени агрессивности.

Диссертационная работа Коноваловой Виктории Сергеевны «Методологические принципы повышения долговечности армированных бетонов, эксплуатирующихся в жидких хлоридсодержащих средах» соответствует паспорту специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия в части области исследования – п. 1. Разработка и развитие теоретических и методологических основ получения строительных материалов неорганической и органической природы с заданным комплексом эксплуатационных свойств, в том числе специальных и экологически чистых; п. 4. Разработка и развитие теории формирования прочности и разрушения композиционных строительных материалов под действием различных эксплуатационных факторов; п. 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; п. 11. Разработка методов прогнозирования и оценки долговечности строительных материалов и изделий в заданных условиях эксплуатации; п. 13. Разработка материалов и технологий для строительства, реконструкции и санации зданий и сооружений в различных климатических условиях с учетом сопротивляемости температурно-влажностным и другим факторам.

Считаю, что соискатель, Коновалова Виктория Сергеевна, достойна присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент
заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства» Белорусского национального технического университета, д.т.н. (специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения; 05.23.05 – Строительные материалы и изделия), профессор,
иностранный академик РААСН

Леонович Сергей Николаевич



Почтовый рабочий адрес:
220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, д. 65
Мобильный телефон:
Рабочий телефон: +375296659942
Электронная почта: cef@bntu.by

Подпись Леоновича С.Н. заверяю:

