



« 16 » января 2024 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» на диссертационную работу

**Коноваловой Виктории Сергеевны** на тему:

**«Методологические принципы повышения долговечности армированных бетонов, эксплуатирующихся в жидких хлоридсодержащих средах»,**

представленной на соискание

ученой степени доктора технических наук по специальности

2.1.5 Строительные материалы и изделия

### 1. Актуальность темы исследования.

Актуальность тематики исследований Коноваловой Виктории Сергеевны не вызывает сомнений, так как бетонные и железобетонные изделия и конструкции широко применяются в строительстве для возведения зданий и сооружений различного назначения, вместе с тем увеличение периода их надежной эксплуатации позволит народному хозяйству экономить большое количество денежных средств. При этом для решения такой задачи необходимо понимать причины возникновения и развития деструктивных процессов, определять всевозможные факторы, влияющие на развитие коррозии, устанавливать и обобщать закономерности коррозионных разрушений в бетоне под воздействием агрессивных сред.

Коррозия арматуры в железобетонных изделиях и конструкциях является одним из основных факторов снижения их долговечности, в особенности, когда арматура подвергается воздействию хлоридов, содержащихся в структурных компонентах бетона, либо проникших из окружающей среды. Поэтому получение достоверной информация о состоянии конструкционного материала в различные периоды его эксплуатации может быть использована для оценки безопасной работы железобетонных изделий и конструкций. Целенаправленное управление

коррозионными процессами и мониторинг состояния сооружений различного назначения необходимы для обеспечения их гарантированного срока службы.

Выбранные для исследований среды являются агрессивными по отношению к бетону и стальной арматуре и вызывают интенсивный процесс разрушения конструктивных сооружений.

Полученные в исследовании выводы базируются на результатах длительного эксперимента, выполненного с применением современных физических и физико-химических методов анализа (комплексометрия, рентгеноструктурный анализ, термический анализ (дифференциальный термический, деривативная термогравиметрия, термогравиметрия), хронопотенциометрия, измерение поляризации электродных процессов, сканирующая атомно-силовая микроскопия), данные методы взаимно дополняют и существенно повышают качество получаемой информации.

С учетом сказанного выше можно утверждать, что тема научных исследований, сформулированная в диссертации, является актуальной.

Диссертационная работа Коноваловой В.С. посвящена установлению 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.

## **2. Структура и содержание работы.**

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из оглавления, введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 14 приложений.

Диссертационная работа изложена на 342 страницах машинописного текста, содержит 114 рисунков, 25 таблиц и список литературы из 654 наименований.

**Во введении** автором обоснована актуальность работы, определена степень проработанности выбранного направления исследования, сформулированы научная гипотеза, цели и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, а также основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** автором выполнен литературный обзор научных трудов, посвященных теоретическим аспектам коррозионных процессов в бетоне и железобетоне под воздействием агрессивных сред.

Рассмотрены и обобщены дефекты конструкций, вызванные коррозией арматуры. Определены механизмы коррозии стальной арматуры в бетоне, вызванные накоплением хлорид-ионов и сульфат-ионов, карбонизацией, взаимодействием реакционноспособных заполнителей со щелочами, морозной деструкцией, действием микроорганизмов.

Выполнена оценка различных моделей коррозии арматуры в бетоне с целью прогнозирования срока службы железобетонных конструкций в условиях развивающихся деструктивных процессов.

Определены способы предотвращения или замедления деструктивных явлений под воздействием агрессивных сред.

Разработаны задачи исследования.

**Во второй главе** автором описаны примененные для исследований методики, приборная база и материалы.

Указаны количественные характеристики портландцемента, стальной арматуры, воды, химических реактивов.

Приведен обзор приборов и методов оценки коррозионной стойкости, водонепроницаемости, плотности, прочности, характера пористости, водородного показателя, фазового состава цементного камня; методов оценки коррозионной стойкости арматурной стали; методов исследования характеристик и свойств фосфатных покрытий.

**В третьей главе** приведены результаты:

- определения концентрации катионов кальция, вынесенных из цементного камня, находящегося в агрессивных средах (2 %-ом растворе  $MgCl_2$ ; 0,1 %-ом растворе  $CaCl_2$ ; 0,001 %-ом растворе  $HCl$  ( $pH = 5$ ));

- изменения водородного показателя жидких сред при коррозии цементного камня:

- расчета кинетики массопереноса для случая коррозии чистого и гидрофобизированного цементного камня в жидких хлоридсодержащих средах при температуре 6 °С и 20 °С в разном возрасте (14, 28, 42, 56, 70 сут.);

- расчета значения константы равновесия Генри  $m$  для образцов цементного камня в условиях воздействия жидких сред различной степени агрессивности;

- определения содержания гидроксида кальция в разных частях цементного камня, что позволило построить профили концентраций основного компонента по толщине образца в разные промежутки времени воздействия жидких сред при температуре 6 °С;

- изменения физико-механических характеристик цементного камня под воздействием жидких хлоридсодержащих сред;

- изменения фазового состава чистого и гидрофобизированного цементного камня, происходящих в результате воздействия на него жидких хлоридсодержащих сред: 2 %-ого раствора  $MgCl_2$ ; раствора  $HCl$  с  $pH = 5$ ; 0,1 %-ого раствора  $CaCl_2$ ;

- общей потери массы образцов цементного камня, рассчитанные по термогравиметрическим кривым;

- физико-механических и коррозионных свойств гидрофобизированного цементного камня;

- степени повреждения чистого и гидрофобизированного цементного камня под воздействием жидких хлоридсодержащих сред.

Автором также дана теоретическая оценка полученных результатов.

Показано, что установленные с помощью экспериментальных исследований значения показателей массопереноса соответствуют известным из справочников и научно-технической литературы величинам и дополняют сформированные в работах других авторов положения и модели процессов массопереноса при жидкостной коррозии бетона.

Подтверждено, что значения коэффициентов массопроводности при пониженной температуре изменяются по экспоненциальной зависимости, в том числе и для случая коррозии цементного камня в воде, тогда как в случае коррозии цементного камня в воде при 20 °С коэффициент массопроводности изменялся по линейному закону. Значения коэффициентов массопроводности выше при 6 °С, что обусловлено более интенсивным растворением гидроксида кальция в структуре цементного камня под воздействием водных сред.

Выявлено, что в результате воздействия на цементный камень хлоридсодержащих растворов пор становится больше, чем в образцах до коррозии. Происходит увеличение количества открытых пор в цементном камне и соответствующее уменьшение объема закрытых пор после коррозии в жидких хлоридсодержащих средах. При этом средний диаметр пор в результате жидкостной коррозии цементного камня в 2 %-ом растворе  $MgCl_2$  стал равен 38 мкм, в растворе  $HCl$  увеличился до 23 мкм, а в 0,1 %-ом растворе  $CaCl_2$  – до 32 мкм. Кроме того, под воздействием агрессивных хлоридсодержащих сред в цементном камне появляется много пор с радиусом более 121 мкм.

Определено, что в результате хлоридной коррозии происходит разложение низкоосновной формы гидросиликата кальция C-S-H (I), что также подтверждается снижением прочностных характеристик цементного камня после его нахождения в жидких хлоридсодержащих средах. Хлоридсодержащая среда высокой степени агрессивности вызывает разложение в цементном камне кристаллических и рентгеноаморфных структурных фаз. Усиленное разрушение в цементном камне при коррозии в 2 %-ом растворе  $MgCl_2$  всех кальцийсодержащих компонентов обуславливает большую потерю прочности.

На основании проведенных исследований автором разработаны рекомендации по замедлению процессов коррозии путем введения в цементное тесто стеарата кальция (объемная гидрофобизация). Показано, что вследствие формирования в цементном камне с гидрофобной добавкой структуры высокой степени кристалличности его прочность возрастает, а при коррозии гидрофобизированного цементного камня в агрессивной жидкости ( $MgCl_2$ ) прочность снижается менее интенсивно. Подтверждено, что объемная гидрофобизация цементного камня обеспечивает уменьшение водопоглощения и повышение его плотности, в том числе за счет снижения пористости посредством кольматирования пор частицами гидрофобной добавки. Вследствие улучшения характеристик цементного камня при введении гидрофобной добавки стеарата кальция повышается его коррозионная стойкость, что подтверждается корреляцией результатов

экспериментальных исследований с расчетами по математической модели коррозии второго вида бетона.

Выявлено, что в хлоридсодержащей среде высокой степени агрессивности для начала разрушения портландита цементного камня требуется 874 суток (2 года и 5 месяцев), в среднеагрессивной жидкости такой процесс протекает за 1006 суток (2 года и 9 месяцев), в жидкости низкой степени агрессивности окончание первой стадии убывания гидроксида кальция в цементном камне происходит через 1213 суток (3 года и 4 месяца).

Таким образом в третьей главе детально изучены массообменные процессы, протекающие в цементном камне под воздействием жидких хлоридсодержащих сред. Теоретически и экспериментально исследована кинетика массообменных процессов, протекающих при воздействии жидких сред на цементный камень, и влияние на интенсивность массопереноса в зависимости от температуры окружающей среды. Установлены сроки безремонтной службы бетонных изделий, находящихся под воздействием хлоридсодержащих сред различной степени агрессивности, с применением данных, полученных при проведении экспериментальных исследований процессов коррозионного массопереноса, и математической модели коррозии второго вида бетона.

**В четвертой главе** диссертационной работы проведены теоретические и экспериментальные исследования массообменных процессов, протекающих в цементном камне со стальной арматурой под воздействием жидких хлоридсодержащих сред.

Автором исследован механизм поступления агрессивной среды к поверхности арматурной стали в бетоне. Определено изменение во времени плотности потока переносимых компонентов в чистом и гидрофобизированном цементном камне при коррозии в 2 %-ом растворе  $MgCl_2$ , в 0,1 %-ом растворе  $CaCl_2$ , в растворе  $HCl$  с  $pH = 5$  при температуре  $20\text{ }^{\circ}C$  и  $6\text{ }^{\circ}C$ . Приведено распределение концентраций ионов хлора в цементном камне в разные интервалы начального периода коррозии в различных жидких хлоридсодержащих средах при разных температурах. Установлено, что у поверхности стальной арматуры в цементном камне предельная концентрация хлорид-ионов достигается через 331 сутки в случае воздействия на образец раствора  $HCl$  с  $pH = 5$ , через 210 суток при коррозии в 0,1 %-ом растворе  $CaCl_2$ , через 174 сутки при коррозии в 2 %-ом растворе  $MgCl_2$ , а при температуре коррозионных сред  $6\text{ }^{\circ}C$  опасное значение концентрации хлорид-ионов достигается в бетоне у поверхности арматуры спустя 1513 суток (4 года и 2 месяца) воздействия раствора  $HCl$  с  $pH = 5$ ; в 0,1 %-ом растворе  $CaCl_2$  через 939 суток (2 года и 7 месяцев); после 540 суток (1 год и 6 месяцев) воздействия 2 %-ого раствора  $MgCl_2$ .

Рассчитано количество продиффундировавших через поровую структуру цементного камня к арматуре хлорид-ионов, и построены кривые изменения их концентрации на разных этапах воздействия хлоридсодержащей среды на цементный камень.

Представлены результаты измерений величин потенциала арматурной стали марки Ст3 внутри чистого и гидрофобизированного цементного камня, подвергаемого воздействию жидких сред различной степени агрессивности. Установлено, что в хлоридсодержащей среде высокой степени агрессивности потенциал поверхности арматуры в чистом цементном камне начинает снижаться через 6 месяцев, а через 18 месяцев изменение электродного потенциала стали замедляется, что объясняется накоплением у поверхности арматуры продуктов коррозии, которые частично препятствуют поступлению к ней хлорид-ионов. При этом в течение 24 месяцев испытаний в гидрофобизированных образцах цементного камня изменения значений потенциала арматурной стали зафиксировано не было.

Автором показаны поляризационные кривые, описывающие коррозионное поведение стальной арматуры в цементном, находящемся под воздействием жидких хлоридсодержащих сред в течение 24 месяцев, и даны объяснения выявленному характеру кривых.

Установлена взаимосвязь между значениями потенциала поверхности стальной арматуры в бетоне и вероятностью ее коррозии.

Исследована кинетика коррозии стальной арматуры в средах различной степени агрессивности, представлены кинетические кривые накопления ионов  $Fe^{2+}$  в жидкой фазе, изменение потенциала поверхности арматуры и поляризационные кривые арматуры в процессе ее коррозии, построены коррозионные диаграммы для арматуры из стали марки Ст3, а также определены показатели скорости коррозии образцов арматуры из стали марки Ст3 в жидких хлоридсодержащих средах различной степени агрессивности.

Дано необходимое теоретическое обоснования выявленным закономерностям.

Таким образом в четвертой главе автором экспериментально исследована кинетика коррозии в системе «хлоридсодержащая среда – цементный камень – стальная арматура» на границах раздела фаз.

На основе оценки распределения содержания хлоридов, которая дала возможность определить сроки достижения предельной концентрации хлорид-ионов в поровой жидкости цементного камня у поверхности стальной арматуры и время начала развития коррозии стали, выполнен прогноз скорости коррозии стальной арматуры в жидких хлоридсодержащих средах.

**В пятой главе** диссертационной работы разрабатываются рекомендации по предотвращению коррозионного разрушения армированного бетона в условиях воздействия жидких хлоридсодержащих сред.

Так, автором предложены фосфатные составы защитных покрытий для арматуры железобетонных конструкций. Представлены результаты исследований коррозионной стойкости фосфатных покрытий, определенные капельным методом. Определены значения потенциала стальной арматуры при холодном фосфатировании в традиционных и модифицированных растворах, также выявлены характерные особенности образованных пленок из

фосфатных покрытий (средний диаметр зерен, шероховатость, среднее число пор на единице площади) и выполнены исследования защитной способности фосфатных покрытий. Установлено, что полученные покрытия из модифицированных растворов холодного фосфатирования в большей степени препятствуют анодному растворению стали.

Одновременно с этим установлена кинетика накопления ионов  $Fe^{2+}$  в жидкой фазе в процессе коррозии арматуры из стали марки Ст3 под воздействием агрессивных сред.

Аналогичные исследования коррозионной стойкости стальной арматуры проведены в агрессивных средах с введением в них нитратов натрия, калия, цинка, кальция и магния в количестве 0,5, 1 и 1,5 % по массе. Рассчитана скорость коррозии арматурной стали в агрессивных средах с добавками ингибиторов, установлено, что комбинирование ингибиторов является менее эффективным по сравнению с введением в агрессивную среду одиночных добавок-ингибиторов. В качестве эффективных ингибиторов коррозии арматуры из стали марки Ст3 в сильно агрессивной жидкой хлоридсодержащей среде определены добавки нитратов калия и кальция с концентрацией 0,5-1,0 %.

Одновременно с этим были исследованы процессы массопереноса в цементном камне, изготовленном с добавками-ингибиторами, а также определены его физико-механические характеристики при действии агрессивных сред

Таким образом, автором в пятой главе разработаны и научно обоснованы составы растворов и режимы для получения на поверхности арматурной стали фосфатных покрытий при комнатной температуре. Для модифицированных фосфатных покрытий, осаждаемых из разработанных растворов фосфатирования, исследованы защитные свойства. Представлены результаты изучения кинетики коррозии арматуры в присутствии ингибиторов.

**В заключении** приведено обобщение основных результатов комплексного исследования коррозии в цементного камня (в том числе гидрогенизированного) и стальной арматуры (в том числе с защитными покрытиями и в присутствии ингибирующих добавок), протекающей в разных хлоридсодержащих средах с учетом массопереноса, сформулированы выводы по результатам решения поставленных автором задач.

Также перечислены предприятия, на которых были внедрены разработанные автором рекомендации.

**В приложениях** содержится дополнительная информация о патенте, показателях качества использованного в исследованиях цемента, а также акты о внедрении результатов диссертации.

### **3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность результатов обусловлена применением научных методов исследования в совокупности с положениями трудов отечественных

и зарубежных авторов в предметной области исследования. Представленные научные положения и выводы соответствуют нормативным и техническим документам в области защиты железобетона от коррозии.

Результаты проведенных исследований и сформулированные на основании полученных данных выводы основаны на комплексе научно обоснованных лабораторных методов постановки экспериментов и стандартизированных методиках сбора и обработки информации. Рассчитанные параметры коррелируют с установленными в ходе экспериментов величинами, вписываются в общепринятые закономерности, не противоречат известным данным.

Основное содержание исследования отражено в докладах на научно-технических конференциях, форумах и круглых столах. Коноваловой В.С. опубликовано 125 научных трудов, в том числе: 15 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ; 19 статей в научных журналах, индексируемых в международных реферативных базах данных Web of Science и Scopus; монография; патент РФ на изобретение.

#### **4. Научная новизна**

Научная новизна диссертационных исследований Коноваловой Виктории Сергеевны заключается в следующем:

- 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



CaCl<sub>2</sub>; 174 суток – для 2 %-ого раствора MgCl<sub>2</sub>; 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 CaCl<sub>2</sub>; 540 суток (1 год и 6 месяцев) в 2 %-ом растворе MgCl<sub>2</sub>. В гидрофобизированных бетонах марок по водонепроницаемости W10 и W16 в 2 %-ом растворе MgCl<sub>2</sub> коррозионные процессы инициируются на поверхности арматурной стали через 8 и 10,5 лет соответственно;

- установлена степень коррозионного повреждения цементного камня при хлоридной коррозии, выраженная в глубине разрушения на различных сроках эксплуатации, изменении его физико-механических характеристик и фазового состава; установленные взаимосвязи позволяют проводить оценку коррозионной деструкции цементного камня без разрушающих методов контроля. Глубина повреждения цементного камня 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<sub>2</sub>, 7 месяцев – в случае 0,1 %-ого раствора CaCl<sub>2</sub>, 12 месяцев – в случае раствора HCl с pH = 5. В случае коррозии гидрофобизированного цементного камня 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 цементного камня на начальном этапе воздействия агрессивных сред, но препятствуют взаимодействию с металлической арматурой хлорид-ионов, поступающих к ее поверхности через цементный камень. Нитраты металлов, вводимые в цементный камень 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.

## **5. Научная и практическая ценность диссертации**

Теоретическая ценность представленных в работе результатов заключается в разработке научно обоснованного методологического подхода и инженерной методики прогнозирования продолжительности периодов коррозионных повреждений при жидкостной коррозии в хлоридсодержащих средах с применением методов математического моделирования процессов массопереноса. Установленные параметры и механизмы повреждения железобетона в результате воздействия хлоридных сред с учетом закономерностей процессов массопереноса необходимы для разработки рекомендаций по защите железобетонных изделий от коррозии и по повышению их долговечности при эксплуатации в средах различной степени агрессивности.

Практическая ценность диссертационного исследования состоит в разработке 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.

Добавка стеарата кальция, согласно разработанным рекомендациям, повышает стойкость цементного камня к коррозии в жидких средах, что

обеспечивает увеличение срока безремонтной эксплуатации железобетонных изделий в 1,5 раза.

Защита поверхности стальной арматуры железобетона разработанными фосфатными покрытиями, осаждаемыми из модифицированных растворов фосфатирования холодным способом, обеспечивает повышение срока безремонтной службы железобетонного изделия в жидких хлоридсодержащих средах в 1,5-2 раза. Рецепт раствора для осаждения фосфатных покрытий на стали холодным способом применяется для повышения стойкости к коррозии выпускаемых изделий на ООО «Ви́ра-96» (г. Южно-Сахалинск).

Применение для ингибирования коррозии стальной арматуры в бетоне в условиях хлоридной коррозии нитратов щелочных и щелочноземельных металлов согласно предложенным рекомендациям способствуют замедлению коррозионной деструкции цементного камня в 1,5-2 раза.

## **6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Разработанный в рамках диссертации методологический подход способствует повышению точности прогнозирования начала и развития коррозионных процессов, протекающих в цементных системах с учетом наличия стальной арматуры. Применение предложенных подходов предусматривается на этапах инженерных проектирования и эксплуатации, что позволяет не только повысить качество принимаемых проектных решений, но и оказать положительное влияние на повышение долговечности железобетонных изделий в условиях воздействия хлоридсодержащих сред. Эффективность методики подтверждается внедрением полученных результатов исследования в различных организациях строительной отрасли.

## **7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Рекомендованные методы обеспечения долговечности железобетона используются в деятельности компании ООО «Мераком» (г. Москва); внедрены в практическую строительную деятельность ООО «ХолодБизнесГрупп» (г. Ростов-на-Дону). Методика для прогнозирования стойкости к коррозии выпускаемых изделий используется в деятельности ООО «Сахалинстойинвест» (г. Южно-Сахалинск); нашла применение на объектах специалистами ООО «Базовый инжиниринг» (г. Иваново), на объектах ООО «Омега-строй» (г. Южно-Сахалинск), при экспертной оценке качества и безопасности бетонных и железобетонных изделий на объектах ООО «Научно-производственное предприятие ЭНЕРГОСЕРВИС» (г. Ростов-на-Дону).

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований используются в учебном процессе кафедры естественных наук и техносферной безопасности ФГБОУ ВО «ИВГПУ» при проведении лекционных и лабораторных занятий для обучающихся по

направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» магистерской программы «Антикоррозионная защита оборудования и сооружений».

Теоретические положение и практические результаты диссертационного исследования внедрены в научно-методическую и проектную деятельность ООО «ЦСРНИ».

Результаты диссертации рекомендуются к использованию для решения задач стадии инженерных изысканий с целью определения рациональности использования методов модульного проектирования для объекта любого назначения и сложности, а также на этапе проектирования с целью повышения эффективности применяемых проектных решений и уменьшения трудозатрат проектировщиков при разработке информационных моделей строительных объектов из модульных элементов.

## **8. Замечания**

Автореферат соответствует тексту диссертации, а публикации автора в полном объеме отражают содержание диссертационной работы.

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания, которые не снижают научную и практическую значимость результатов исследования:

1. В первой главе автор указывает, что «Потребление бетона по всему миру приближается к 9 млрд. тонн в год и постоянно растет». Более корректным и понятным было бы приводить эти данные не в тоннах, а в кубических метрах.

2. Диссертационные исследования проведены на образцах цементного камня со стальной арматурой, изготовленного при В/Ц=0,3. Возможно ли переносить полученные результаты на железобетонные конструкции, изготовленные на основе бетона, и как изменится характер массопереноса при изменении В/Ц, а также в присутствии крупного и мелкого заполнителя? Очевидно, что цементный камень в таком бетоне будет характеризоваться отличной от исследованной модели структурой и характером пористости. Проводились ли исследования на цементном камне с иными В/Ц, а также непосредственно на бетоне и железобетоне?

3. Диссертационные исследования были выполнены с использованием портландцемента на основе клинкера нормированного состава ( $C_3A=7,69\%$ ). Возможно ли предложенную методику и математическую модель применять для прогнозирования долговечности железобетонных конструкций при использовании цемента с различными минеральными добавками и эксплуатации в условиях воздействия нескольких агрессивных сред?

4. Предлагаемая для расчета срока службы бетона математическая модель не учитывает разницу скоростных режимов течения жидкости, в связи с чем представляется затруднительным корректно прогнозировать долговечность бетона гидротехнических сооружений.

5. При нанесении на стальную арматуру фосфатных покрытий должен измениться характер ее сцепления бетоном, что может повлиять на

работоспособность железобетонных конструкций. Проводились ли такие исследования автором?

6. В актах внедрения результатов работы не приведены сведения об изделиях и конструкциях, на которых апробированы разработанные рекомендации, и не указаны условия эксплуатации этих изделий.

7. В диссертационной работе не приведен расчет экономической эффективности от внедрения результатов исследований.

Вместе с тем, указанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы; выполненные исследования изложены в логической последовательности, подтверждены экспериментально.

## **9. Заключение**

Анализ диссертационной работы Коноваловой Виктории Сергеевны позволяет сделать вывод о том, что по тематике, предмету, научной новизне и методам исследования она соответствует паспорту специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия в части направления исследований: 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.

В соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г.) диссертационная работа Коноваловой Виктории Сергеевны оценивается как научно-квалификационная работа, посвященная научному обоснованию методологических подходов к прогнозированию продолжительности коррозионных повреждений железобетона, прочностных и антикоррозионных свойств армированного бетона в соответствии с различными областями его применения, идентификации причин возникновения коррозии строительных материалов и выявлению факторов, влияющих на процессы деструкции.

Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

По объему, новизне и значимости полученных результатов диссертационная работа Коноваловой Виктории Сергеевны на тему:

«Методологические принципы повышения долговечности армированных бетонов, эксплуатирующихся в жидких хлоридсодержащих средах» удовлетворяет требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор – Коновалова Виктория Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия.

Диссертационная работа и отзыв о диссертации заслушаны, обсуждены и одобрены на заседании кафедры технологии строительных материалов и метрологии «27» декабря 2023 г., протокол № 4. Присутствовали: 19 человек. Результаты голосования:

«за» – 19 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел.

Заведующий кафедрой технологии строительных материалов и метрологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», доктор технических наук, профессор

Пухаренко Юрий Владимирович

Доцент кафедры технологии строительных материалов и метрологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», кандидат технических наук, доцент

Староверов Вадим Дмитриевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Юридический адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Фактический адрес: Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Телефон: +7 (812) 575-05-34.

Адрес электронной почты: [rector@spbgasu.ru](mailto:rector@spbgasu.ru)

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://spbgasu.ru>

Учредитель образовательной организации: Министерство науки и высшего образования РФ.

