

На правах рукописи



Караваев Иван Васильевич

**ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ ХЛОРИДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД НА
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ГИДРОФОБИЗИРОВАННОГО БЕТОНА И СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ
АРМАТУРЫ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2019

Работа выполнена на кафедре нанотехнологий, физики и химии ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор, советник РААСН,
Румянцева Варвара Евгеньевна

Официальные оппоненты: **Степанова Валентина Федоровна**
Лауреат премий Правительства РФ в области науки и техники, академик МИА, доктор технических наук, профессор АО «НИЦ «Строительство» г. Москва, заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева

Низина Татьяна Анатольевна
Советник РААСН, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва»

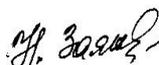
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург

Защита состоится «28» июня 2019 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.01 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153037, г. Иваново, Шереметевский пр-т, 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановского государственного политехнического университета www.ivgpi.com

Автореферат разослан « » _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Н.В. Заянчуковская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. Композитные материалы успешно используются в течение многих десятилетий в различных отраслях промышленности: строительной, авиационно-космической, автомобильной, железнодорожной, оборонной, телекоммуникационной, спортивной и т.д. Свойства композитов в сочетании с уменьшением издержек производства продолжают стимулировать увеличение спроса на их использование, вместо таких традиционных материалов, как металл. Главные преимущества композитных материалов по сравнению с металлами и их сплавами: низкая плотность, высокая удельная жесткость и прочность, достаточная усталостная прочность, долговечность, высокое сопротивление коррозии, хорошая теплоизоляция и низкое температурное расширение. Эти свойства позволяют считать композитные материалы весьма привлекательными.

Армирование композитной арматурой бетона было предложено еще в середине XX века. Исследования в области замены металлической арматуры композитной проводились многими институтами и организациями, как зарубежными, так и отечественными. Огромный вклад в изучение свойств и областей применения композитной арматуры внесли К.В. Михайлов, Н.А. Мощанский, О.Я. Берг, И.Н. Ахвердов, Ю.М. Иванов, Н.П. Фролов, Г.Д. Андреевская, Ю.М. Вильдавский, М.С. Асланова, С.С. Жаврид. За рубежом неметаллическая арматура заняла прочное место в 70-х годах прошлого века. Известны работы таких иностранных авторов, как Millin J.V., Knoell A.C., Sagers K.H., Harris B., Nawy E., Neuwerth G. В последнем десятилетии различные теоретические и практические исследования были посвящены замещению стальной арматуры на стеклопластиковую, поскольку этот материал не подвергается коррозии и, таким образом, обеспечивает долговечность конструкции. В России исследованием композитных материалов и их применения для армирования бетонных изделий занимаются В.Ф. Степанова, В.И. Римшин, С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, С.И. Меркулов, И.И. Овчинников, Г.М. Красовская, С.В. Шахов, А.С. Шахов, А.Ю. Степанов, А.Т. Беккер, В.Г. Хозин, Ю.В. Пухаренко, Т.А. Низина. Основным фактором, который обеспечивает совместную работу стеклокомпозитной арматуры и бетона, является сцепление этих разномодульных материалов. Одной из проблем по-прежнему остается проскальзывание стержня композитной арматуры в бетоне при разрушении изделия. При этом происходит разрушение профиля стеклокомпозитной арматуры, поскольку при вырывании прутка навивка сдвигается и скалывается с поверхности стержня арматуры. Избежать этого явления можно посредством усиления сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном путем формирования надежного профиля арматурного стержня и повышения коррозионной стойкости и прочности цементных бетонов.

Степень разработанности темы. Представленная работа является продолжением научного направления, связанного с теоретическими и экспериментальными исследованиями процессов массопереноса при коррозии армированного бетона и железобетона, развиваемого в ИВГПУ под общим руководством академика РААСН С.В. Федосова. К настоящему времени в рамках данной научной школы разработан комплекс математических моделей процессов коррозии в разных средах, предложены пути борьбы с коррозионной деструкцией.

Обширные исследования, посвященные работе системы «композитная арматура – бетон» и разработке новых видов композитной арматуры, а также изучению их поведения в среде бетона и в коррозионной среде, ведутся в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» В.Ф. Степановой, Е.П. Жирковым, Г.М. Красовской, С.В. Шаховым и А.С. Шаховым. Вопросами использования композитной арматуры для армирования бетонных изделий и конструкций занимаются в ДВФУ А.Т. Беккер и А.М. Уманский. Проблемы применения полимерных композитных материалов в строительстве изучаются в СГТУ им. Гагарина И.Г. Овчинниковым и И.И. Овчинниковым, в СПбГАСУ Ю.В. Пухаренко, а также С.Н. Леоновичем в БНТУ и О.Н. Лешкевичем в РУП «Институт БелНИИС» Республики Беларусь. Исследования механических свойств и сцепления композитной арматуры с

бетоном проводятся в ФГБУ «НИИ Строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» под руководством В.И. Римшина, а также в КГАСУ В.Г. Хозиным и А.А. Пискуновым. Исследованиями влияния модификаторов и минеральных добавок на прочностные характеристики и коррозионную стойкость цементных бетонов занимаются в Национальном исследовательском Мордовском государственном университете им. Н.П. Огарева Т.А. Низина, В.П. Селяев и Д.И. Коровкин.

Однако проводимые ранее исследования по совершенствованию методов повышения сцепления композитной арматуры с бетоном не затрагивали влияние объемной гидрофобизации бетона на совместную работу арматуры стеклокомпозитной и бетона.

Все отмеченное и определило цель настоящей работы, которая выполнялась в соответствии с научным направлением, развиваемым на кафедре нанотехнологий, физики и химии Ивановского государственного политехнического университета в рамках плана НИР и ОКР ИВГПУ.

Цель диссертационного исследования: исследовать и повысить показатели эксплуатационных характеристик композита на основе гидрофобизированного бетона и стеклокомпозитной арматуры при хлоридной коррозии.

Задачи диссертационного исследования:

1. Исследовать влияние массообменных процессов, протекающих при коррозии гидрофобизированных цементных бетонов в жидких средах различной степени агрессивности, на изменение их эксплуатационных характеристик, таких как прочность, водонепроницаемость, долговечность и коррозионная стойкость.

2. Установить влияние коррозионных повреждений бетона на сцепление с композитной стеклокомпозитной арматурой при хлоридной коррозии.

3. Установить влияние гидрофобизирующих добавок на коррозию бетона и сцепление бетона с композитной стеклокомпозитной арматурой при хлоридной коррозии.

4. Разработать вид навивки, обеспечивающий высокое сцепление стеклокомпозитной арматуры с бетоном.

5. Исследовать поведение стеклокомпозитной арматуры в бетоне при коррозии в жидких средах.

Научная новизна:

- на основании анализа современного состояния проблемы коррозии бетонов в жидких хлоридсодержащих средах выдвинута гипотеза о существенном влиянии процесса гидрофобизации на диффузионные процессы в бетонах;

- экспериментально подтверждено положительное влияние гидрофобизирующих добавок на изменение эксплуатационных характеристик цементных бетонов вследствие осаждения стеарата кальция в порах при твердении цементной смеси; установлено количество гидрофобизирующей добавки стеарата кальция для обеспечения долговечности композита на основе гидрофобизированного бетона и стеклокомпозитной арматуры при хлоридной коррозии в жидких средах различной степени агрессивности;

- проведено исследование мониторинга диффузии хлорид-ионов по глубине бетона к поверхности арматуры и гидроксида кальция из бетона в агрессивную среду; определены параметры коррозионного массопереноса (коэффициенты массопроводности, массоотдачи) для портландцемента марки ПЦ 500-Д-0 с добавкой гидрофобизатора стеарата кальция в средах различной степени агрессивности;

- экспериментально установлены временные интервалы достижения равновесия в системе «гидрофобизированный бетон – жидкая агрессивная среда», по математической модели коррозии II вида цементных бетонов рассчитаны сроки безремонтной службы изделий из бетонов марок W6 и W8 по водонепроницаемости.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные представления о коррозионной деструкции гидрофобизированных бетонов с учетом закономерностей процессов массопереноса позволяют спрогнозировать последствия воздействия жидких сред различной степени агрессивности на бетон и применяются на

ООО «Мераком» (г. Москва), а разработанные рекомендации по гидрофобизации позволяют обеспечить требуемую долговечность бетонных изделий.

Разработанный вид навивки для стеклокомпозитной арматуры повышает сцепление арматурного стержня с бетоном, что позволяет предотвратить преждевременное обрушение бетонного изделия и находит применение в деятельности ООО «Базовый инжиниринг» (г. Иваново).

Методология и методы диссертационного исследования. В работе обобщены, систематизированы и проанализированы имеющиеся в отечественной и зарубежной научно-технической литературе данные по теме исследования. На основании этого сформулированы задачи, предложены пути их выполнения и проведена проверка достоверности полученных результатов. Для этого использованы методы теоретического и эмпирического уровня исследований.

Полученные результаты и выводы, приведенные в работе, основаны на результатах длительного эксперимента, выполненного с применением комплекса взаимодополняющих, высокоинформативных методов исследований, таких как электро-, комплексометрия, рентгеноструктурный анализ и статистической обработки полученных данных, а также на результатах, полученных разрушающими методами контроля прочности цементного камня и прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном, подтверждены хорошей сходимостью результатов расчетов и экспериментальных данных, а также их корреляцией с известными закономерностями.

Положения, выносимые на защиту:

- исследования по гидрофобизации цементных бетонов на основе цемента марки ПЦ 500-Д-0 для жидких сред различной степени агрессивности;
- результаты исследования прочностных характеристик и изменения структурно-фазового состава бетона в результате коррозии II вида в жидких средах различной степени агрессивности;
- вид навивки, обеспечивающий высокое сцепление стеклокомпозитной арматуры с бетоном;
- результаты исследований влияния коррозионных повреждений бетона на сцепление со стеклокомпозитной арматурой.

Степень достоверности полученных результатов. Исследования проведены с использованием современных физических, физико-химических и химических методов анализа и математической обработки полученных данных. Достоверность и обоснованность полученных результатов обусловлены применением гостированных методик и соответствием полученных экспериментальных данных физико-химическим представлениям о процессе массопереноса при коррозионной деструкции и результатам проведенных исследований других авторов.

Апробация результатов. Основные положения диссертации опубликованы в статье в журнале, входящем в международную базу цитирования Scopus; в 4 статьях в журналах, рецензируемых ВАК РФ.

Результаты исследований доложены на XX-XXIV Международных научно-технических конференциях «Информационная среда вуза» г. Иваново, 2013-2017; на VI межвузовском научном семинаре «Актуальные вопросы общей и специальной химии» г. Иваново, 2014; на межвузовских научно-технических конференциях с международным участием «Молодые ученые развитию промышленно-текстильного кластера» (ПОИСК – 2014-2017) г. Иваново; на IX Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные аспекты современной науки» г. Белгород, 2015; на научно-практической конференции к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, д.т.н., Баженова Юрия Михайловича «Эффективные строительные композиты» г. Белгород, 2015; на IV Всероссийской студенческой научно-технической конференции «Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология» г. Казань, 2015; на XIII Международной научно-практической конференции

«Современные тенденции развития науки и технологий» г. Белгород, 2016; на XIX и XX Международных научно-практических форумах «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEX – 2016, 2017) г. Иваново; на межвузовской научно-технической конференции с международным участием «Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы» (ПОИСК – 2018), г. Иваново; на Всероссийской научно-технической конференции «Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций» г. Саранск, 2018.

Внедрение результатов исследований. На основании выполненных исследований разработаны практические рекомендации, которые внедрены компанией ООО «Базовый инжиниринг» при проведении подготовки поверхности стеклокомпозитной арматуры посредством нанесения навивки периодического профиля (акт о внедрении №3-НИР от 20.03.2018 г. ООО «Базовый инжиниринг», г. Иваново).

Практические рекомендации по мониторингу и повышению коррозионной стойкости бетонных и железобетонных конструкций, а также строительных материалов, были использованы при проведении промышленной экспертизы строительных конструкций и сооружений на производственных объектах ООО «Мераком». Установлено, что введение гидрофобизаторов позволяет повысить коррозионную стойкость бетонов и увеличить срок безремонтной службы бетонных изделий в 1,3-1,5 раза в зависимости от назначения конструкции (акт о внедрении № 18-н2 от 21.11.2018 г. ООО «Мераком», г. Москва).

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований используются в учебном процессе кафедры нанотехнологий, физики и химии ФГБОУ ВО «ИВГПУ» при проведении лекционных и лабораторных занятий для обучения бакалавров направления подготовки 08.03.01 «Строительство» по дисциплине «Коррозия металлов и способы защиты» и магистрантов направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» магистерская программа «Антикоррозионная защита оборудования и сооружений» по дисциплинам: «Методы исследования коррозионных процессов оборудования и сооружений», «Физико-химические основы коррозии», «Эксплуатационные и антикоррозионные материалы» (акт о внедрении от 03.12.2018 г., ИВГПУ, г. Иваново).

Личный вклад автора. Автор сформулировал цели и задачи, выбрал объекты, методологию и методы исследований, разработал комплекс теоретических и экспериментальных изысканий; лично осуществлял постановку и проведение исследований по установлению влияния жидких агрессивных сред на эксплуатационные характеристики (такие как прочность, водонепроницаемость, долговечность и коррозионная стойкость) цементных гидрофобизированных бетонов; проводил разработку нового вида навивки для стеклокомпозитной арматуры; обработал и проанализировал основные результаты, практическая реализация которых так же проводилась при непосредственном участии автора. Автор лично участвовал в проведении теоретических и экспериментальных исследований и их обсуждении с научным руководителем.

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 18 работ, в том числе в изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus, опубликована 1 статья; в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, опубликовано 4 статьи; получены патенты на полезные модели РФ № 149570 от 10.01.2015 г., № 159663 от 20.02.2016 г., № 159684 от 20.02.2016 г.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка и приложений; изложена на 174 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунка, 26 таблиц и список литературы из 265 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, приведена общая характеристика работы, а также научные положения, которые выносятся на защиту, аргументирована практическая значимость диссертационного исследования.

В первой главе проанализированы работы зарубежных и отечественных авторов, посвященные современным представлениям о механизме коррозии строительных материалов (бетона, железобетона, композитных материалов), аспектам использования стеклокомпозитной арматуры в строительстве и определены задачи исследования.

В современном бетоне одним из основных направлений является применение композитных материалов. Однако, применение композитной арматуры в силовых элементах конструкций ограничено по причине низкого сцепления арматурного стержня с бетоном. В значительной степени причиной низкого сцепления является невысокий модуль упругости прутка арматуры и его сужение при растяжении.

При коррозии бетона, армированного композитной арматурой, срок службы изделия будет определяться только коррозией цементного камня, поскольку композитная арматура не подвергается воздействию большинства агрессивных сред, и будет зависеть от толщины защитного слоя бетона и скорости протекания и распространения коррозионных процессов в бетоне.

Воздействие жидкой агрессивной среды является основной причиной коррозии бетона, поэтому необходимо улучшать водостойкость бетона. Для того, чтобы предотвратить проникновение жидкой агрессивной среды в тело бетона целесообразно проводить гидрофобизацию как поверхностную, так и объемную, что может эффективно повысить продолжительность жизненного цикла бетонных изделий.

Из всего разнообразия гидрофобизирующих добавок на наш взгляд наиболее эффективны стеараты щелочных и щелочно-земельных металлов, поэтому в качестве объекта исследований был выбран стеарат кальция.

Во второй главе представлены сведения о материалах, которые используются при проведении экспериментальных исследований жидкостной коррозии. Приведены методики получения экспериментальных данных, подготовки образцов к исследованию и последующей обработки результатов.

Физико-химический анализ материалов проводился при использовании стандартных методик. Коррозионная стойкость цементного камня исследовалась на образцах-кубах с гранью 3 см и на образцах-таблетках диаметром 50 мм и толщиной 5 мм, изготовленных из портландцемента марки ПЦ 550-Д-0, с водоцементным отношением В/Ц = 0,3. Марка бетона по водонепроницаемости W4, W6, W8 регулировалась гидрофобизирующей добавкой стеаратом кальция и перед началом эксперимента определялась согласно методике, изложенной в патенте РФ № 2187804 и МИ 2625-2000 «РЕКОМЕНДАЦИЯ ГСИ. Материалы цементные. Методика выполнения измерений водонепроницаемости ускоренным методом». Стеарат кальция вводился на стадии изготовления испытываемых образцов для обеспечения объемной гидрофобизации. Было установлено, что марке бетона по водонепроницаемости W4 соответствует концентрация гидрофобизатора в количестве 0,3 % по массе бетона, марке бетона W6 – 0,5 %, марке бетона W8 – 0,7 %. Образцы-кубы из цементного камня помещали на 150 суток в емкости объемом 3000 см³, наполненных растворами 2 %-го MgCl₂ и дистиллированной водой. Образцы-таблетки погружались в водные растворы MgCl₂ объемом 3000 см³, разных концентраций, откуда с периодичностью 7 суток отбирались пробы для титрования, объемом 10 см³. Для проведения испытаний использовался «Прибор для исследования процессов коррозии строительных материалов» (патент РФ на полезную модель № 171164, разработанный в рамках научной школы академика РААСН С.В. Федосова).

Количественный анализ ионов кальция в жидкой среде проводился по методу комплексонометрии.

Рентгеноструктурный анализ образцов цементного камня проводился на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE.

Прочность бетона определялась с использованием прессы П-50 согласно ГОСТ 10180-2012. Определение предела прочности композитной арматуры при осевом растяжении проводили на разрывной машине Р-50 согласно ГОСТ 32492-2013.

Для исследования прочности анкеровки стеклокомпозитной арматуры диаметром 10 мм на основе стандартной методики испытаний, описанной в приложении Д ГОСТа 31938-2012, была предложена методика ускоренного испытания сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном и спроектировано приспособление (патент на полезную модель РФ № 149570), состоящее из двух частей: удерживающего устройства и гильзы (патент на полезную модель РФ № 159663, патент на полезную модель РФ № 159684).

В третьей главе проведен анализ результатов физико-химических исследований жидкой и твердой фаз, позволяющий судить об изменениях, которые произошли в цементном камне под воздействием жидких сред различной степени агрессивности. Для

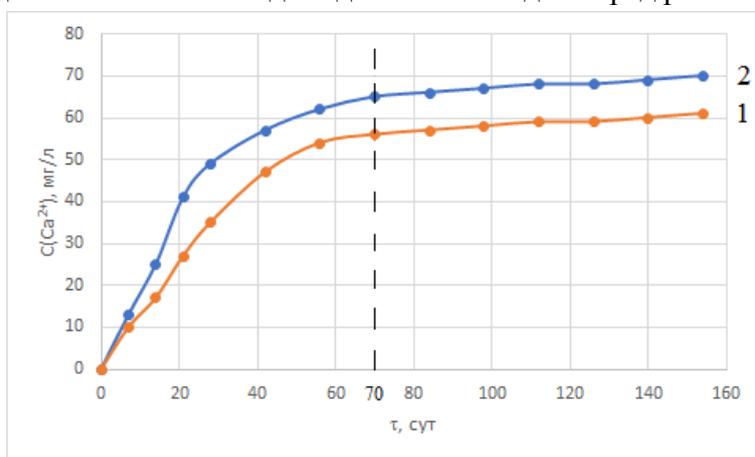


Рис. 1. Кинетические кривые концентрации катионов кальция в воде (1) и 2 %-ом растворе MgCl_2 (2)

исследования процессов, происходящих при коррозии в жидких средах, проведено исследование по определению степени выщелачивания цементного камня. В ходе проведения серии опытов установлено, что равновесная концентрация катионов кальция растворах достигается после 150 суток пребывания образцов в коррозионной среде. После достижения равновесия в системе изменения концентрации кальция в растворах не происходит вследствие за-

трудненности проникновения коррозионной среды вглубь цементного камня (рис. 1).

В таблице 1 представлены результаты испытаний на прочность образцов из портландцемента марки ПЦ 500-Д0, подвергавшихся воздействию различных сред в течение 150 суток.

Таблица 1. Изменение прочностных характеристик образцов из портландцемента марки ПЦ 500-Д0 после воздействия на них агрессивных сред

Тип образца	Напряжение разрушения, МПа
До воздействия	55,78
После воздействия воды	42,44
После воздействия 2 %-ого раствора MgCl_2	22,54

Очевидно, что для цементных образцов без специальных добавок 2 %-ый раствор MgCl_2 является сильноагрессивной средой, он оказывает более сильное влияние на снижение их прочностных характеристик.

В ходе проведения испытаний коррозионной стойкости цементного камня с гидрофобизирующими добавками установлено, что состояние, близкое к равновесной концентрации катионов кальция в растворе, достигается после 14 суток пребывания исследуемого образца в коррозионной среде (рис. 2-4), тогда как для образцов без гидрофобизирующих добавок состояние равновесия наступает после 50 суток. После достижения равновесия изменения концентрации катионов кальция в растворе не

происходит вследствие затрудненности проникновения коррозионной среды вглубь бетона.

Из рис. 2-4 видно, что равновесное значение концентрации катионов кальция в исследуемых растворах для бетонов различных марок примерно одинаково для одного типа агрессивности жидкой среды. Таким образом, зная степень агрессивности среды (концентрацию хлорид-ионов), можно определить количество гидрофобизирующей добавки, достаточное для предотвращения коррозионных разрушений в бетоне.

Для концентраций $MgCl_2$ менее 9 г/л достаточно концентрации гидрофобизирующей добавки 0,3 % от массы бетона, что соответствует марке по водонепроницаемости W4. Для концентрации $MgCl_2$ 9-16,5 г/л достаточно концентрации гидрофобизирующей добавки 0,5 % от массы бетона, что соответствует марке по водонепроницаемости W6. Для концентрации $MgCl_2$ выше 16,5 г/л концентрации гидрофобизирующей добавки должна составлять не менее 0,7 % от массы бетона, что соответствует марке по водонепроницаемости W8.

При коррозии образцов в жидких средах на начальном этапе происходит увеличение прочности, что может быть объяснено наполнением пор и пустот в бетоне новообразующимися продуктами коррозии и изменением структуры цементного камня.

Прочность бетона увеличивается лишь на какое-то время и превышает прочность бетона, не подвергающегося воздействию жидкой агрессивной среды. Чем медленнее протекает процесс коррозии, тем позднее наступает потеря прочности бетона. Повышение расчетного напряжения разрушения бетона (рис. 5) может быть связано со структурно-фазовыми превращениями, происходящими в цементном камне при воздействии агрессивной среды. Однако в целом при воздействии жидких агрессивных сред

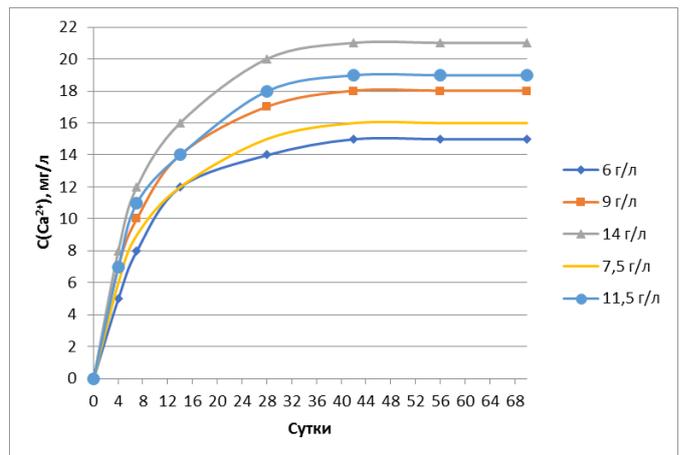


Рис. 2. Кинетические кривые концентрации катионов кальция в растворе $MgCl_2$ разной концентрации для образцов из бетона марки по водонепроницаемости W4

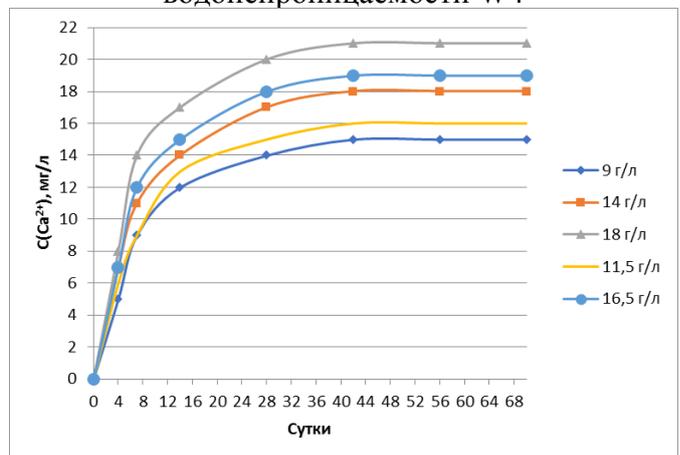


Рис. 3. Кинетические кривые концентрации катионов кальция в растворе $MgCl_2$ разной концентрации для образцов из бетона марки по водонепроницаемости W6

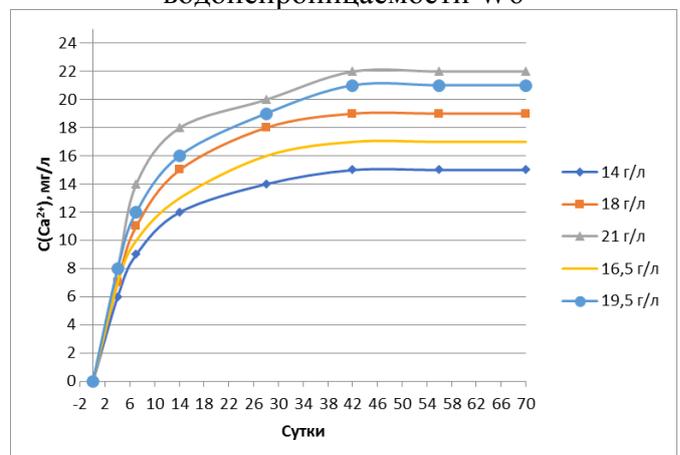


Рис. 4. Кинетические кривые концентрации катионов кальция в растворе $MgCl_2$ разной концентрации для образцов из бетона марки по водонепроницаемости W8

происходит снижение прочности бетонных образцов, поскольку происходит связывание ионов кальция из структуры цементного камня в продукты коррозии.

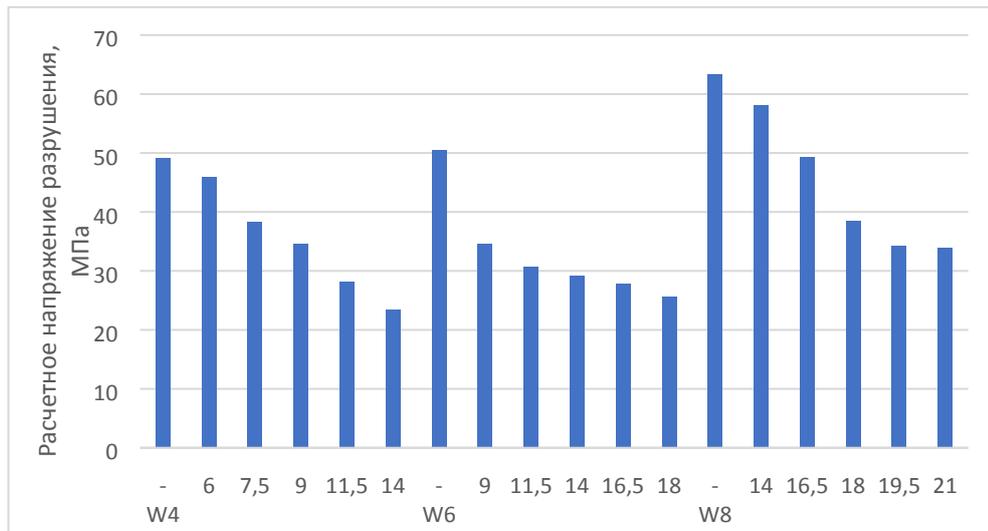


Рис. 5. Изменение прочности бетонных образцов под воздействием агрессивной среды

Модельные представления о характере процессов массопереноса в исследуемой системе «твердое тело – жидкая агрессивная среда», которые были приняты ранее, подтверждаются анализом результатов проведенных комплексных физико-химических исследований, что позволяет произвести расчет по разработанной в рамках научной школы академика РААСН С.В. Федосова математической модели (1) характеристик процесса массопереноса «свободного гидроксида кальция» при коррозии бетона второго вида, в результате воздействия выбранной агрессивной среды: 2 %-ого водного раствора $MgCl_2$, в соответствии с известными методиками расчета.

$$\begin{aligned} \theta(\bar{x}, Fo_m) = & -\frac{Ki_m^*}{6}(6Fo_m + 3\bar{x}^2 - 1) + \frac{2Ki_m^*}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \cos(\pi n \bar{x}) \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo_m) + \int_0^1 \theta_0(\xi) d\xi \\ & + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos(\pi n \bar{x}) \int_0^1 \theta_0(\xi) \cos(\pi n \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo_m) + \left(Fo_m + \frac{3\bar{x}^2 + 2}{6}\right) \int_0^1 Po_n^* d\xi \\ & d\xi - \int_0^1 Po_m^*(\xi) \cdot \xi \cdot d\xi + \frac{1}{2} \int_0^1 Po_m^*(\xi) \cdot \xi^2 \cdot d\xi - \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \cos(\pi n \bar{x}) \int_0^1 Po_m^*(\xi) \cos(\pi n \xi) \\ & d\xi \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo_m). \end{aligned} \quad (1)$$

По выражению (1) произведен расчет профилей концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине цементобетонного образца, подвергнутого воздействию 2 %-ого водного раствора $MgCl_2$, на разных этапах проведения эксперимента для марок бетона по водонепроницаемости W6 (рис. 6) и W8 (рис. 7).

Описанные выше экспериментальные данные, используемые для подстановки в математические модели процессов коррозии II вида цементных бетонов, позволяют прогнозировать динамику массообменных процессов в теле бетонных и армированных бетонных конструкций.

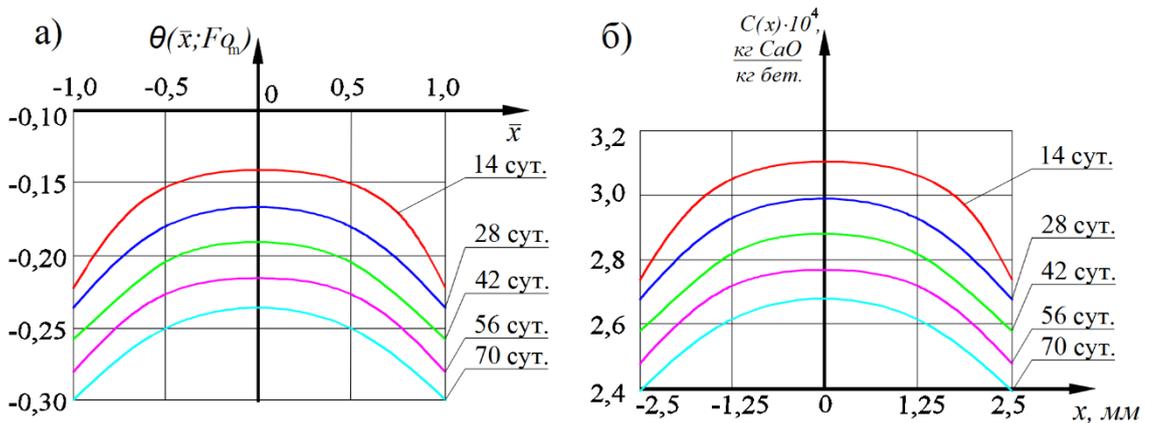


Рис. 6. Профили концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине бетонного образца марки по водонепроницаемости W6 в безразмерных координатах (а) и в координатах с реальными физическими размерами (б)

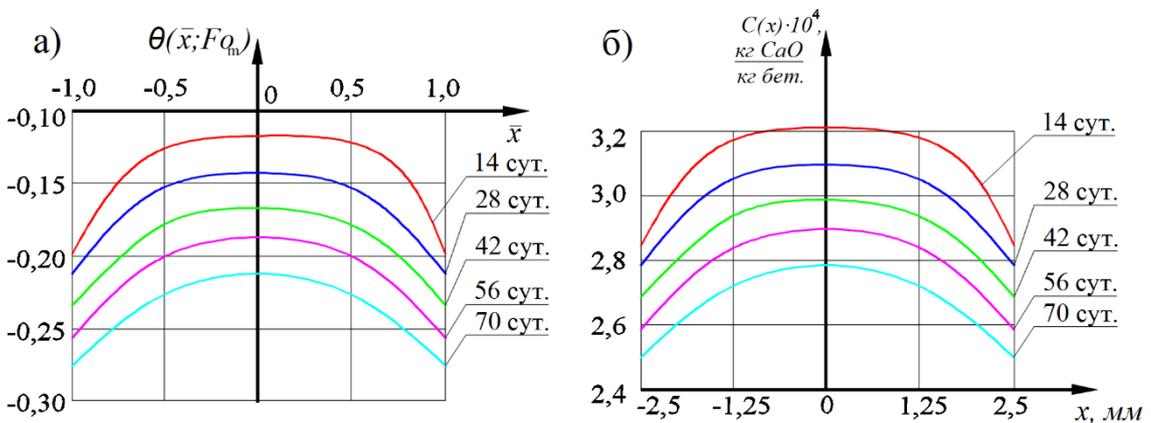


Рис. 7. Профили концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине бетонного образца марки по водонепроницаемости W8 в безразмерных координатах (а) и в координатах с реальными физическими размерами (б)

В качестве наглядного примера расчета долговечности по полученным данным на рис. 8 представлены результаты расчета полей концентраций «свободного гидроксида кальция» образца из армированного бетона толщиной 400 мм с маркой по водонепроницаемости W8 в 2 %-ом растворе $MgCl_2$.

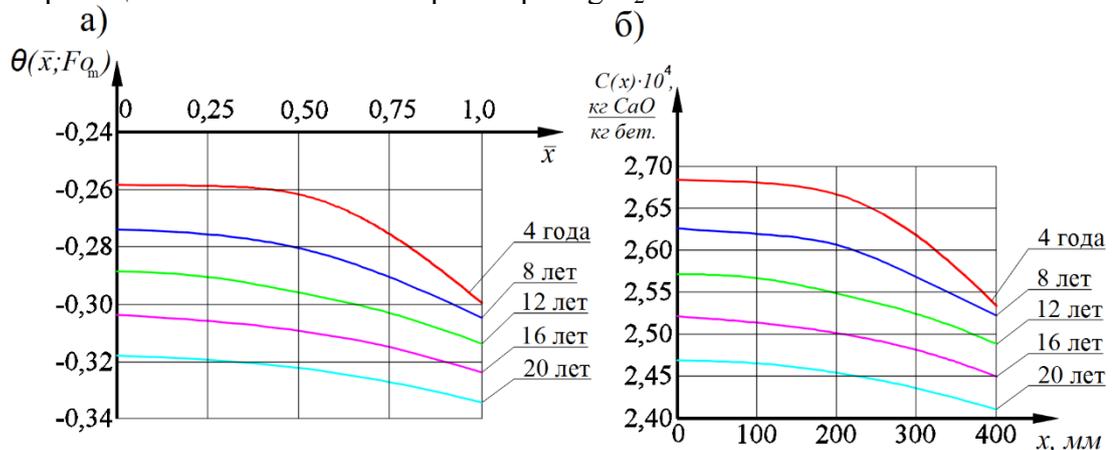


Рис. 8. Профили концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине образцов из бетона марки по водонепроницаемости W8 в 2 %-ом растворе $MgCl_2$ в безразмерных координатах (а) и в координатах с реальными физическими размерами (б)

По построенным профилям концентраций «свободного гидроксида кальция» проведен расчет долговечности армированного бетонного изделия. Установлено, что через 12 лет при прогнозировании нахождения бетонного образца в данной агрессивной среде в слоях бетона, близко расположенных к агрессивной среде, начинается разложение высокоосновных соединений цементного бетона: алита, белита, трехкальциевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита. Затем к 16 годам эксплуатации разложение высокоосновных соединений происходит по всей толщине бетонного образца, а к 20 годам концентрация «свободного гидроксида кальция» становится такой, что прочность бетона будет крайне низкая и не сможет обеспечить дальнейшую безопасную эксплуатацию изделия. Тогда как в бетоне без гидрофобизирующих добавок разложение высокоосновных составляющих цементного камня начинается через 2,5 года воздействия химически агрессивной среды.

По выражению (1) произведен расчет профилей концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине цементобетонного образца, подвергнутого воздействию 2 %-ого водного раствора $MgCl_2$, на разных этапах проведения эксперимента для марок бетона по водонепроницаемости W6 и W8. По полученным профилям концентрации «свободного гидроксида кальция» по толщине бетонного образца построены профили концентраций хлорид-ионов (рис. 9).

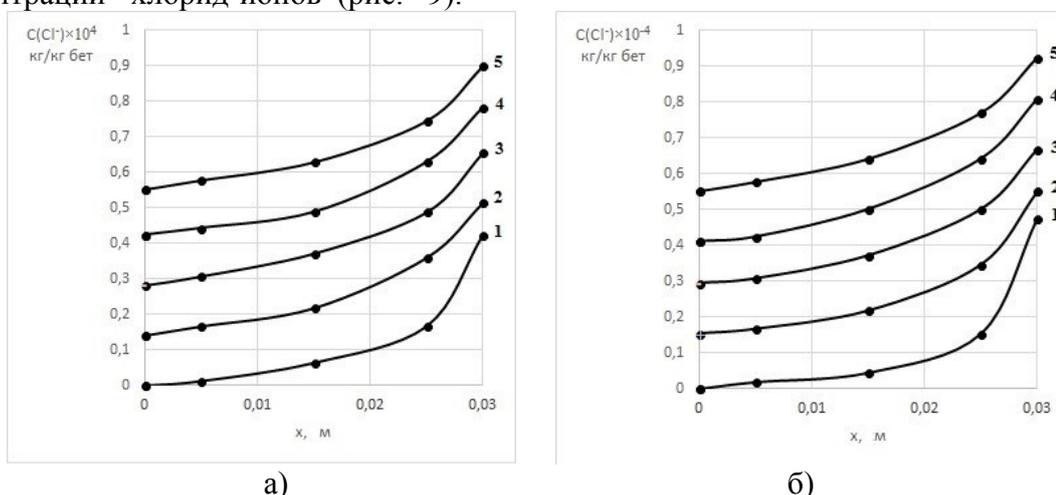


Рис. 9. Профили концентраций хлорид-ионов по толщине образцов из бетонов марок W6 (а) и W8 (б) в 2 %-ом растворе $MgCl_2$ при τ : 1 – 14 сут; 2 – 28 сут; 3 – 42 сут; 4 – 56 сут; 5 – 70 сут

Полученные профили концентраций позволяют спрогнозировать время достижения концентрации в бетоне хлорид-ионов, необходимой для начала коррозии арматурной стали. В качестве порогового значения концентрации хлорид-ионов, при превышении которого начинают развиваться коррозионные процессы на поверхности стальной арматуры, традиционно принимается 0,4 % по массе цемента. Для исследуемых бетонных образцов пороговое значение содержания хлорид-ионов составляет $2,8 \cdot 10^{-4}$ кг/кг бетона. Установлено, что пороговое значение концентрации хлорид-ионов достигается в бетоне марки по водонепроницаемости W6 через 230 суток; в бетоне марки по водонепроницаемости W8 – 241 сутки. Для достижения такой концентрации хлорид-ионов у поверхности арматуры в бетоне без гидрофобизирующих добавок при жидкостной коррозии в 2 %-ом водном растворе $MgCl_2$ понадобится 174 суток.

Эти расчетные данные были подтверждены результатами проведенных экспериментальных исследований изменения потенциала арматуры из стали марки Ст3, находящейся в цементных образцах, подвергающихся воздействию агрессивных сред (рис. 10).

В ходе эксперимента было установлено, что изменение потенциала стальной арматуры в 2 %-ом водном растворе $MgCl_2$, находящейся в бетонном образце без добавок, начинается через 6 месяцев испытаний, то есть после 180 суток нахождения бетонного образца в агрессивной среде; в образцах с гидрофобизирующими добавками – 9 месяцев, то есть после 270 суток нахождения бетонного образца в агрессивной среде.

Данные подтверждают, что введение гидрофобизирующих добавок на стадии изготовления армированного бетонного изделия замедляет скорость проникновения агрессивных частиц через бетон к поверхности арматуры. Очевидно, что введение гидрофобизирующих добавок позволяет предотвратить преждевременную коррозию арматуры и последующую деструкцию железобетонного изделия в целом.

В четвертой главе проведены исследования сцепления стеклокомпозитной арматуры, имеющей различные виды навивки, с бетоном. Оценено влияние агрессивных сред на прочность сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном. Проведена серия экспериментов по выдергиванию прутков арматуры с различными видами покрытий и типами навивок из бетонного куба в соответствии со стандартной методикой, описанной в ГОСТ 31938-2012.

Образцы стеклокомпозитной арматуры представляли собой обрезки стеклокомпозитной арматуры длиной 270 мм, диаметром 12 мм. Такая длина прутка обусловлена габаритами агрегата для нанесения покрытий. В качестве покрытий на поверхности стеклокомпозитной арматуры были получены напылением металлические слои из оксида титана и нержавеющей стали. Испытания проводились на «Приспособлении для проведения испытаний по вырыванию из бетона прутка композитной арматуры» (патент на полезную модель РФ № 149570) после набора бетонным образцом прочности в течение 28 суток. Данные (рис. 11) свидетельствуют о том, что тонкослойные покрытия не влияют на прочность анкеровки, а характер анкеровки стеклокомпозитных стержней с полимерным связующим не является адгезионным.

Для определения прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с гидрофобизированными бетонами проведен ряд испытаний образцов арматурных стержней с различными видами обработки поверхности (рис. 12).

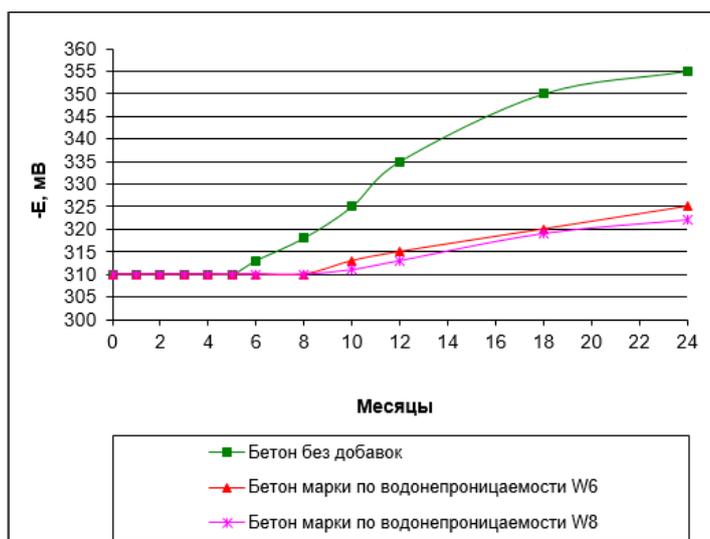


Рис. 10. Изменение потенциала поверхности стальной арматуры в цементных образцах, подвергающихся воздействию 2 %-ого раствора $MgCl_2$

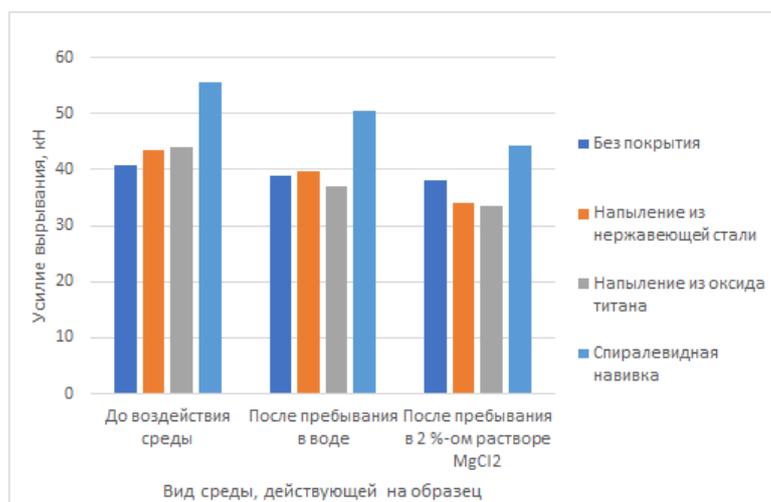
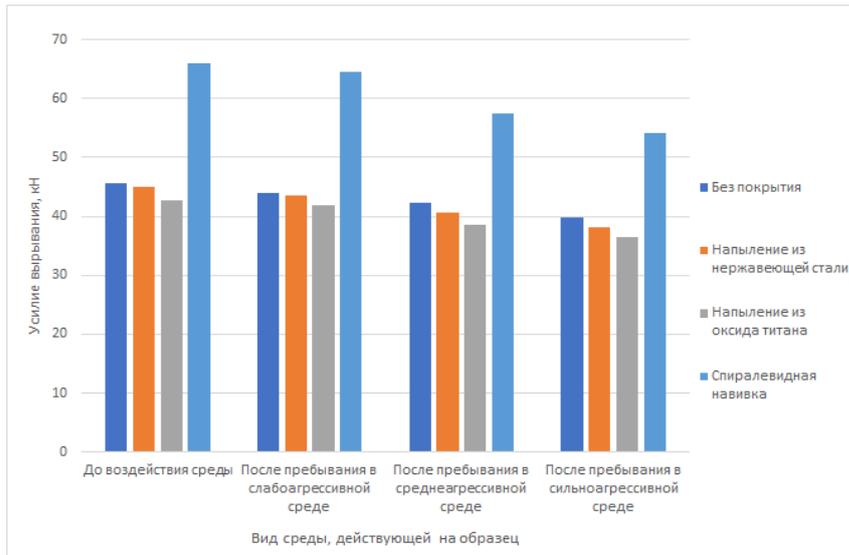
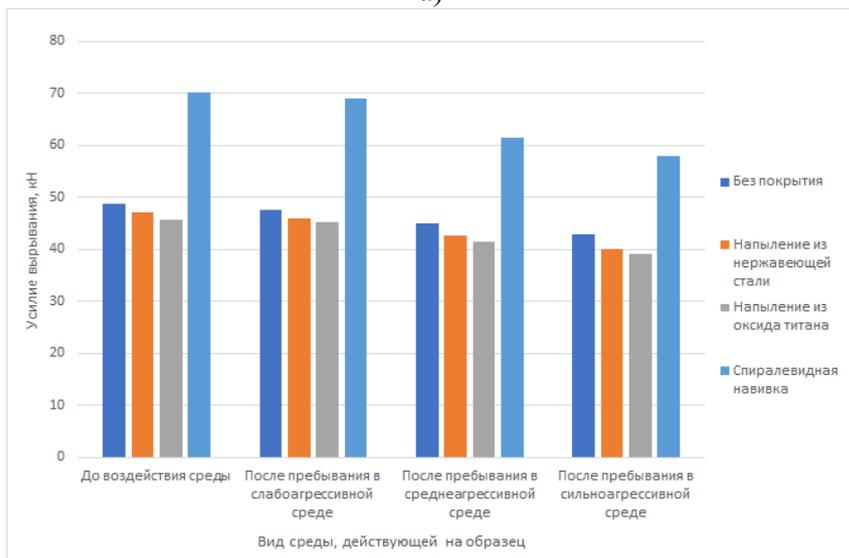


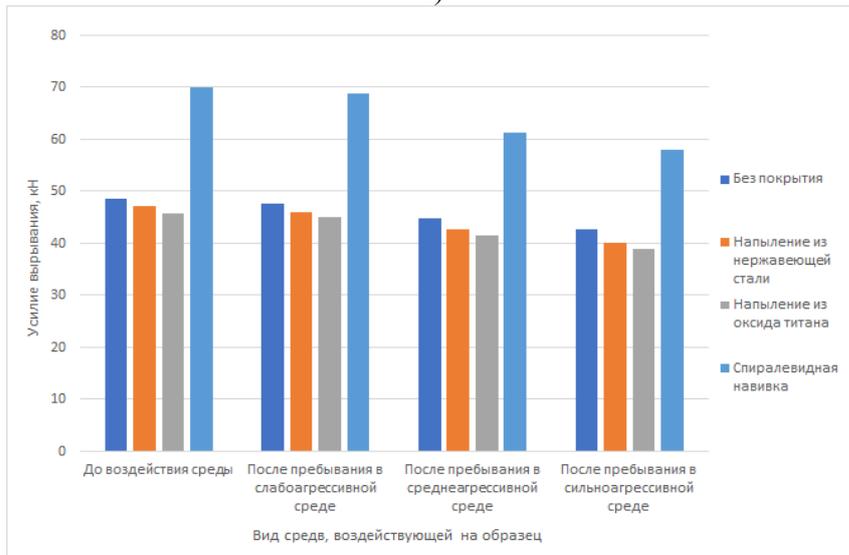
Рис. 11. Усилия вырывания композитной арматуры с различными видами обработки поверхности и типами навивки из бетона



а)



б)



в)

Рис. 12. Усилия вырывания стеклокомпозитной арматуры с разными видами обработки поверхности и типами навивки из бетонов марок по водонепроницаемости: а) W4, б) W6, в) W8

При сравнении результатов испытаний образцов без гидрофобизирующих добавок (рис. 11) и результатов испытаний образцов марок W4, W6 и W8 (рис. 12) установлено, что с увеличением концентрации гидрофобизирующей добавки в бетоне повышается усилие вырывания прутка стеклокомпозитной арматуры из бетонного образца, а, значит, увеличивается сцепление арматурного стержня с бетоном. Это может быть связано как с увеличением прочности бетона вследствие гидрофобизации, так и с замедлением коррозионных процессов, происходящих в нем под воздействием жидких агрессивных сред.

Для исследования стойкости к воздействию различных сред образцы стеклокомпозитной арматуры диаметром 10 мм и длиной 20 см помещали в сосуды, наполненные водой, 2 %-ым водным раствором $MgCl_2$, смесью растворов $NaOH$ и $CaCO_3$ в соотношении 1:2 с $pH = 13$. Результаты эксперимента показали, что в течение короткого срока (за 28 дней) изменений в значениях массы и прочностных характеристик стеклокомпозитной арматуры не происходит. Через 6 месяцев пребывания стержней стеклокомпозитной арматуры в жидкой среде наблюдается изменение предела прочности на

растяжение на 1,3 % в воде, на 3,5 % в растворе $MgCl_2$, 14 % в щелочной среде; модуля упругости – на 0,2 % в воде, на 0,4 % в растворе $MgCl_2$, на 8,4 % в щелочной среде. Наибольшее изменение предела прочности на растяжение и модуля упругости стеклокомпозитной арматуры наблюдается в щелочной среде, имитирующей внутриводную среду бетона.

Описан вид навивки, который бы обеспечил высокое сцепление арматуры с бетоном и препятствовал разрушению профиля стеклокомпозитной арматуры при нарушении сплошности бетонного покрытия. При получении подобного профиля на стеклокомпозитном стержне остается вероятность того, что навивка будет соскальзывать при вырывании прутка арматуры из бетона. Для предотвращения проскальзывания навивки было решено оставить только одно ребро жесткости при формировании профиля стеклокомпозитной арматуры (рис. 13).

Испытаниям прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном подвергались образцы со стандартной спиралевидной навивкой (рис. 14-а) и новым видом навивки, схожим с периодическим профилем стальной арматуры железобетона (рис. 14-б), а также образцы с другими видами обработки поверхности (рис. 15).

Спиралевидный тип навивки не играет основной роли в анкеровке стеклокомпозитной арматуры в бетоне. Основным фактором закрепления стеклокомпозитной арматуры является формирование профиля основного тела арматурного стержня, которое будет дополнительно обжато бетоном и через плавно изменяющийся профиль сможет передавать усилие на бетон. Вид навивки периодического профиля улучшает сцепление стеклокомпозитной арматуры с бетоном и позволяет рассматривать стеклокомпозитную арматуру в качестве полноценной замены стальной для армирования бетона в гражданском и промышленном строительстве.

Для оценки влияния деструкции бетона вследствие протекающих в нем коррозионных процессов проведена серия испытаний на вырывание прутка стеклокомпозитной арматуры с различными типами навивки из бетона марок по водонепроницаемости W6 и W8, подвергавшегося коррозии в жидких средах в течение 6 месяцев. Данные испытаний представлены на рис. 16.

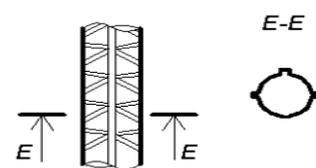
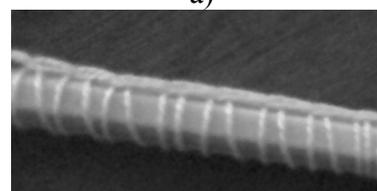


Рис. 13. Формируемый периодический профиль стеклокомпозитной арматуры



а)



б)

Рис. 14. Виды испытываемой навивки стеклокомпозитной арматуры: а) спиралевидная; б) периодического профиля

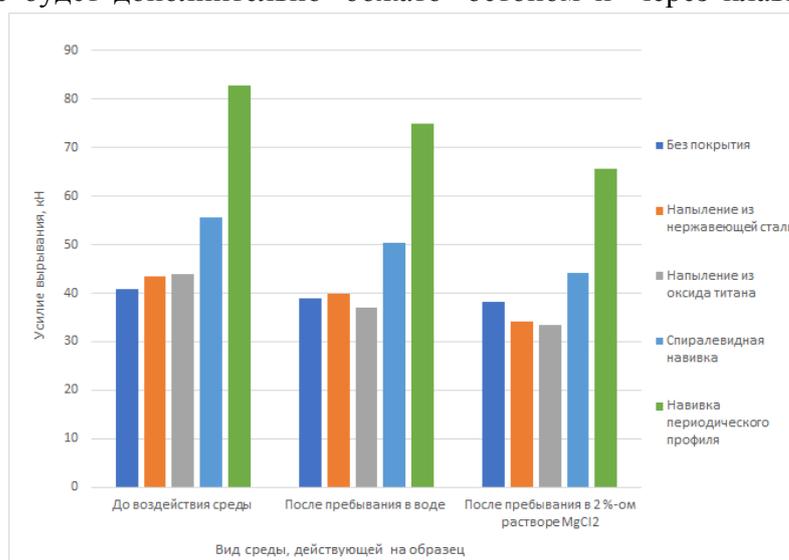
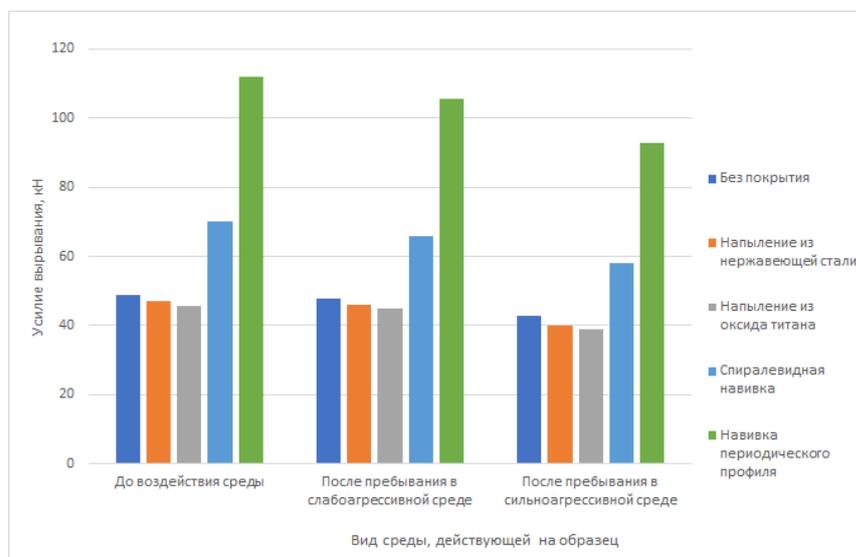
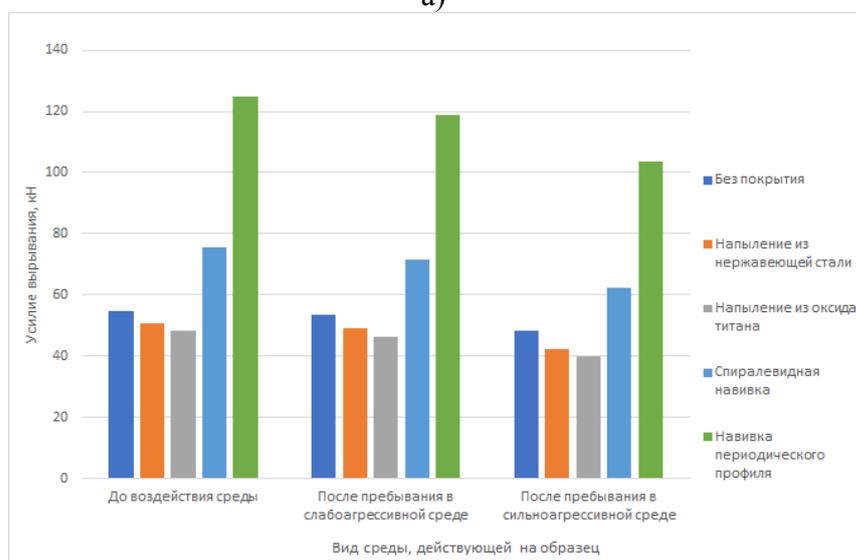


Рис. 15. Усилия вырывания стеклокомпозитной арматуры с разными видами обработки поверхности и типами навивки из бетона



а)



б)

Рис. 16. Усилия вырывания стеклокомпозитной арматуры с разными видами обработки поверхности и типами навивки из бетона марки по водонепроницаемости: а) W6, б) W8

стеклокомпозитной арматуры с бетоном по сравнению со спиралевидной навивкой на 49 %.

Для гидрофобизированных бетонных образцов сцепление увеличивается по сравнению с образцами без добавок на 60 % у образцов из бетона марки по водонепроницаемости W6, и на 66 % у образцов из бетона марки по водонепроницаемости W8. Таким образом, введение гидрофобизаторов в бетон и использование навивки периодического профиля позволяют обеспечить надежное сцепление стеклокомпозитной арматуры с бетоном и увеличить срок службы армированного изделия.

В **заключении** приведены итоги выполненного исследования:

1. Анализ литературных источников подтвердил, что в строительном материаловедении накоплен огромный теоретический и практический материал о коррозионных процессах, протекающих в бетонах. Многие работы посвящены изучению поведения стеклокомпозитной арматуры в бетоне. Однако имеющихся результатов исследований механизма сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном явно недостаточно для определения роли навивки в процессе вырывания прутка из бетона.

Очевидно, что снижение механической прочности бетона при коррозии отражается на сцеплении стеклокомпозитной арматуры с бетоном для всех типов обработки поверхности стеклокомпозитной арматуры. Однако навивка периодического профиля по-прежнему лучше сцепляется с бетоном, усилие вырывания снизилось на 5,9 %, тогда как для других видов обработки поверхности стеклокомпозитной арматуры снижение произошло на 11-22 %.

Получение периодического профиля навивки стеклокомпозитной арматуры увеличивает расход нити на 75 %, однако при этом увеличивается площадь поверхности приклеивания навивки к поверхности арматурного стержня, что снижает возможность проскальзывания навивки относительно арматурного прутка, а также увеличивается сцепление

2. Разработаны рекомендации по гидрофобизации цементных бетонов в зависимости от агрессивности среды, в которой будет эксплуатироваться бетонное изделие. Оптимальный результат достигается с добавками гидрофобизаторов в концентрации по массе бетона 0,5 и 0,7 %.

3. На основании проведенных экспериментальных исследований коррозии бетонных образцов из портландцемента марки ПЦ 500-Д0 с гидрофобизирующими добавками установлено, что через 12 лет эксплуатации в слоях бетона, близко расположенных к агрессивной среде, начинается разложение высокоосновных соединений цементного бетона. Тогда как в бетоне без гидрофобизирующих добавок разложение высокоосновных составляющих цементного камня начинается через 2,5 года воздействия среды. Таким образом, срок службы бетонного изделия увеличивается в 4,8 раза.

4. На основании проведенного рентгеноструктурного анализа установлена связь между прочностью сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном и изменениями в структурных составляющих цементного камня при коррозии в средах разной степени агрессивности. Анализ полученных результатов подтвердил, что с увеличением концентрации гидрофобизирующей добавки уменьшается разложение высокоосновных составляющих цементного бетона, что приводит к повышению прочности бетона и увеличению сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном.

5. Определены основные параметры массопереноса (коэффициенты массопроводности, массоотдачи) для портландцемента марки ПЦ 500-Д-0 с добавкой гидрофобизатора стеарата кальция в средах различной степени агрессивности, позволяющие судить о влиянии диффузии хлорид-ионов вглубь бетона и выносе гидроксида кальция из бетона в агрессивную среду на коррозию цементного бетона.

6. Установлено влияние вида обработки поверхности и периодического профиля стержня стеклокомпозитной арматуры на его сцепление с бетоном. Разработанный вид навивки периодического профиля обеспечивает увеличение сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном по сравнению со спиралевидной навивкой на 49 %. Для гидрофобизированных образцов сцепление увеличивается по сравнению с образцами без добавок на 60 % у образцов из бетона марки по водонепроницаемости W6, и на 66 % у образцов из бетона марки по водонепроницаемости W8. Установлено, что образцы стеклокомпозитной арматуры с навивкой периодического профиля обладают повышенными физико-механическими характеристиками, а, значит, изделия из них будут выдерживать большие нагрузки.

7. На основании выполненных исследований разработаны практические рекомендации, которые внедрены компанией ООО «Базовый инжиниринг» при проведении подготовки поверхности стеклокомпозитной арматуры посредством нанесения навивки периодического профиля (акт о внедрении №3-НИР от 20.03.2018 г. ООО «Базовый инжиниринг», г. Иваново). Практические рекомендации по мониторингу и повышению коррозионной стойкости бетонных и железобетонных конструкций, а также строительных материалов, были использованы при проведении промышленной экспертизы строительных конструкций и сооружений, на производственных объектах ООО «Мераком» (акт о внедрении № 18-н2 от 21.11.2018 г. ООО «Мераком», г. Москва). Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований используются в учебном процессе кафедры нанотехнологий, физики и химии ФГБОУ ВО ИВГПУ при проведении лекционных и лабораторных занятий для обучения бакалавров направления подготовки 08.03.01 «Строительство» по дисциплине «Коррозия металлов и способы защиты» и магистрантов направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» магистерская программа «Антикоррозионная защита оборудования и сооружений» по дисциплинам: «Методы исследования коррозионных процессов оборудования и сооружений», «Физико-химические основы коррозии»,

«Эксплуатационные и антикоррозионные материалы» (акт о внедрении от 03.12.2018 г., ИВГПУ, г. Иваново).

Перспективы дальнейшей разработки тематики: разработанные на основании полученных экспериментальных данных рекомендации по гидрофобизации цементных бетонов с целью повышения коррозионной стойкости к воздействию жидких агрессивных сред могут быть использованы для разработки математических моделей массопереноса в системе «цементный бетон – агрессивная среда» с учетом процесса коагуляции пор бетона, что позволит эффективно управлять процессами коррозионной деструкции строительных материалов и изделий. Полученные представления о диффузионных процессах, протекающих при коррозии в жидких средах гидрофобизированных бетонов, позволят исследовать широкий спектр бетонов и создать базу данных коэффициентов массопереноса для сред различной степени агрессивности.

Принятые обозначения:

n – число членов ряда; ζ – координата интегрирования в диапазоне $0 \leq \xi \leq \bar{x}$; $Ki_m^* = \frac{q_0 \delta}{k C_0 \rho_0}$ – модифицированный критерий Кирпичева; $Fo_m = \frac{k \tau}{\delta^2}$ – массообменный критерий Фурье; $\bar{x} = \frac{x}{\delta}$ – безразмерная координата; $\theta(\bar{x}, Fo_m) = \frac{C(x, \tau) - C_0}{C_0}$ – безразмерная концентрация; $Po^*(\bar{x}) = \frac{q_v(x) \delta^2}{k C_0 \rho_0}$ – модифицированный критерий Померанцева.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

публикация, включенная в международную базу цитирования Scopus:

1. Федосов, С.В. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников, В.С. Коновалова, **И.В. Караваяев** // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 6 (372). – С. 268-276.

публикации, включенные в перечень, определенный ВАК Минобрнауки РФ:

2. Румянцева, В.Е. К вопросам методики проведения испытаний анкеровки арматуры неметаллической композитной в бетоне / В.Е. Румянцева, **И.В. Караваяев** // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 1 (57). – С. 108-113.

3. Румянцева, В.Е. Комплексная оценка конкурентного потенциала предприятия по производству строительных материалов / В.Е. Румянцева, **И.В. Караваяев**, Н.А. Грузинцева, Б.Н. Гусев // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. – 2016. – № 2 (60). – С. 95-102.

4. Федосов, С.В. Жидкостная коррозия бетонов в среде с различной степенью агрессивности / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, **И.В. Караваяев** // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 4 (63). – С. 113-118.

5. Федосов, С.В. Скорость проникновения хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры в гидрофобизированных бетонах / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, **И.В. Караваяев** // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2018. – № 4 (56). – С. 93-98.

в других изданиях:

6. Федосов, С.В. Композитная арматура как способ повышения долговечности строительных конструкций / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, **И.В. Караваяев** // Эффективные строительные композиты: сборник материалов научно-практической конференции к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 700-710.

7. Румянцева, В.Е. Механическое воздействие на бетон в железобетонных элементах, армированных стекловолоконной композитной арматурой / В.Е. Румянцева, **И.В. Караваяев** // Информационная среда вуза. – 2016. – № 1 (23). – С. 106-109.

8. Караваев, И.В. К вопросу о прочности сцепления композитной арматуры с бетоном / **И.В. Караваев**, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016). – 2016. – № 1-2. – С. 124-127.
9. Румянцева, В.Е. Коррозия бетона с гидрофобизирующими добавками / В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, **И.В. Караваев**, С.А. Логинова // Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения А.Н. Плановского. – М.: ФГБОУ ВО МГУДТ, 2016. – Т. 2. – С. 138-141.
10. Румянцева, В.Е. Массоотдача при жидкостной коррозии бетонов в средах с разной степенью агрессивности / В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, **И.В. Караваев**, С.А. Логинова, К.В. Морохов // Информационная среда вуза. – 2017. – № 1 (24) – С. 372-376.
11. Караваев, И.В. Влияние вида анкеровки на адгезию композитной арматуры к бетону / **И.В. Караваев**, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2017). – 2017. – С. 115-117.
12. Караваев, И.В. Исследование прочности сцепления композитной арматуры с гидрофобизированными бетонами / **И.В. Караваев**, К.В. Морохов, В.С. Коновалова // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2018. – № 1 (1). – С. 305-306.
13. Караваев, И.В. Навивка для композитной арматуры периодического профиля / **И.В. Караваев**, И.В. Воробьев, В.С. Коновалова // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2018. – № 1 (1). – С. 303-305.
14. Федосов, С.В. Влияние кольматации пор цементного камня на жидкостную коррозию гидрофобизированных бетонов / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, **И.В. Караваев**, А.С. Евсяков // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2018. – № 6 (32). – С. 44-48.
15. Румянцева, В.Е. Долговечность цементных бетонов, армированных композитной и стальной арматурой / В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, **И.В. Караваев**, К.В. Морохов // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – 2018. – С. 147-153.
16. Пат. № 149570 Российская Федерация, МПК G01N 3/00 (2006.01). Приспособление для проведения испытаний по вырыванию из бетона прутка композитной арматуры / **И.В. Караваев**, Ю.А. Щепочкина, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный политехнический университет»; заявл. 02.06.2014; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 13.
17. Пат. № 159663 Российская Федерация, МПК G01N 3/00 (2006.01). Гильза для удержания прутка композитной арматуры, вырываемого из бетона / Ю.А. Щепочкина, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, **И.В. Караваев**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный политехнический университет»; заявл. 23.03.2015; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5.
18. Пат. № 159684 Российская Федерация, МПК G01N 3/00 (2006.01). Гильза для удержания прутка композитной арматуры, вырываемого из бетона / Ю.А. Щепочкина, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, **И.В. Караваев**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный политехнический университет»; заявл. 08.07.2015; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность за ценные замечания, оказанные при проведении теоретических и экспериментальных исследований, при обсуждении результатов работы, а также при оформлении диссертации: академику РААСН, доктору технических наук, профессору Сергею Викторовичу Федосову.

Научно-информационное издание

Караваяев Иван Васильевич

Специальность 05.23.05. – «Строительные материалы и изделия»

Влияние жидких хлоридсодержащих сред на эксплуатационные характеристики гидрофобизированного бетона и стеклокомпозитной арматуры

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Подписано в печать 29.04.2019. Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага писчая.

Усл. печ.л.1,00.Уч.-изд.л. 1,03. Тираж 100 экз. Заказ 4893

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и финансов

ФГБОУ ВО «ИГХТУ»

✉ 153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 7