

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный политехнический университет»**

На правах рукописи

Карavaев Иван Васильевич

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

Специальность

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Доктор технических наук,
профессор, советник РААСН
Румянцева Варвара Евгеньевна

Иваново 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Аспекты использования стеклокомпозитной арматуры для изготовления изделий из армированного бетона.....	14
1.1. Виды композитной арматуры, способы и особенности анкеровки...	16
1.2. Характеристики стеклокомпозитной арматуры.....	22
1.2.1. Физико-механические характеристики стеклокомпозитной арматуры.....	23
1.2.2. Химические характеристики стеклокомпозитной арматуры.....	32
1.3. Перспективы применения стеклокомпозитной арматуры для изготовления изделий из армированного бетона.....	34
1.4. Коррозия бетона.....	36
1.5. Гидрофобизация бетона.....	42
1.6. Постановка задач исследования.....	45
Глава 2. Материалы, приборы и методики экспериментальных исследований.....	47
2.1. Используемые материалы.....	47
2.2. Краткое описание применяемых экспериментальных методик...	51
2.2.1. Определение коррозионной стойкости бетонов.....	51
2.2.2. Количественный анализ ионов кальция в жидкой среде по методу комплексонометрии.....	54
2.2.3. Электрометрический метод определения водородного показателя рН.....	55
2.2.4. Определение плотности, водопоглощения и пористости бетона.....	56
2.2.5. Методика определения марки бетона по водонепроницаемости.....	58
2.2.6. Методика проведения рентгеноструктурного анализа.....	60
2.2.7. Методика определения прочности бетона.....	61

2.2.8. Методика определения предела прочности стеклокомпозитной арматуры при осевом растяжении.....	62
2.2.9. Методика определения прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном.....	63
Глава 3. Исследование влияния массообменных процессов, протекающих при коррозии гидрофобизированных цементных бетонов в жидких средах различной степени агрессивности, на изменение их эксплуатационных характеристик.....	66
3.1. Результаты экспериментальных исследований коррозии цементного камня в жидких средах.....	66
3.2. Результаты экспериментальных исследований коррозии гидрофобизированного цементного камня в жидких средах.....	72
3.3. Определение долговечности гидрофобизированных бетонов.....	98
Глава 4. Исследование поведения стеклокомпозитной арматуры в бетоне при коррозии в жидких средах.....	106
4.1. Результаты экспериментальных исследований технических характеристик стеклокомпозитной арматуры в среде бетона и в агрессивных средах.....	106
4.2. Определение сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном при коррозии в средах различной степени агрессивности.....	108
4.3. Определение сцепления стеклокомпозитной арматуры с гидрофобизированными бетонами при коррозии в средах различной степени агрессивности.....	112
4.4. Разработка навивки для стеклокомпозитной арматуры для обеспечения требуемого сцепления с бетоном.....	118
Заключение.....	128
Библиографический список.....	131
Приложения.....	162
Приложение 1.....	163
Приложение 2.....	164
Приложение 3.....	165

Приложение 4.....	167
Приложение 5.....	169
Приложение 6.....	170
Приложение 7.....	171
Приложение 8.....	172
Приложение 9.....	173
Приложение 10.....	174

ВВЕДЕНИЕ

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 [1, 2, 201]. Эти свойства позволяют считать композитные материалы весьма привлекательными.

Армирование композитной арматурой бетона было предложено еще в середине XX века [3]. Исследования в области замены металлической арматуры композитной проводились многими научными организациями, как зарубежными [202-207], так и отечественными [1, 3-16]. Огромный вклад в изучение свойств и областей применения композитной арматуры внесли К.В. Михайлов [1, 4], Н.А. Мощанский [5], О.Я. Берг [6], И.Н. Ахвердов [7], Ю.М. Иванов [8], Н.П. Фролов [9-11], Г.Д. Андреевская [3, 12], Ю.М. Вильдавский [13], М.С. Асланова [14], С.С. Жаврид [15, 17]. Полученные данные подтвердили возможность применения композитной арматуры в качестве замены стальной при изготовлении армированных изделий из бетона. За рубежом неметаллическая арматура заняла прочное место в 70-х годах прошлого века. Известны работы таких авторов, как Millin J.V., Knoell A.C., Sagers K.H., Harris B., Nawy E., Neuwerth G. [208-210].

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 [18-22]. В России исследованием композитных материалов и их применением для армирования бетонных изделий занимаются В.Ф. Степанова [2, 18, 21, 23-30], В.И. Римшин [31-36], С.В. Федосов [37-41], В.Е. Румянцева [42-46], С.И. Меркулов [33, 34], И.И. Овчинников [47-52], Г.М. Красовская [21, 24, 25], С.В. Шахов [24-28], А.С. Шахов [26-28], А.Ю. Степанов [26-28, 30, 35, 53], А.Т. Беккер [19, 54-56], В.Г. Хозин [57-59], Ю.В. Пухаренко [60-62], Т.А. Низина [63-66].

Основным фактором, который обеспечивает совместную работу стеклокомпозитной арматуры и бетона, является сцепление этих разномодульных материалов. Одной из проблем по-прежнему остается проскальзывание стержня стеклокомпозитной арматуры в бетоне [31, 57]. При этом происходит разрушение профиля стеклокомпозитной арматуры, поскольку при вырывании прутка навивка сдвигается и скалывается с поверхности стержня арматуры [6, 57]. 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 «стеклокомпозитная 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.И. Овчинниковым и И.Г. Овчинниковым, 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 стеклокомпозитной 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 эксплуатационные характеристики композита на основе гидрофобизированного бетона и стеклокомпозитной арматуры при хлоридной коррозии.

Исходя из указанной цели, основными **задачами** диссертационной работы являются:

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 основные 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 прогнозировать последствия воздействия жидких сред различной степени агрессивности на бетон и применяются на ООО «Мераком» (г. Москва). 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».

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 основаны на результатах длительного эксперимента, выполненного с применением комплекса взаимодополняющих, высокоинформативных методов исследований, таких как электро-, комплексометрия, рентгеноструктурный анализ, и статистическая обработка 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.

Достоверность 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 работы и публикации. Основные положения диссертации опубликованы в журнале, входящем в международную базу цитирования Scopus: «Известия вузов. Технология текстильной промышленности» № 6 (372) 2017; в журналах, рецензируемых ВАК Министерства образования и науки РФ: «Строительство и реконструкция» № 1 (57) 2015; «Вопросы современной науки и практики.

Университет имени В.И. Вернадского» № 2 (60) 2016; «Вестник гражданских инженеров» № 4 (63) 2017; «Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение» № 4 (56) 2018.

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 (Приложение 1)).

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 (Приложение 2)).

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 магистров 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 (Приложение 3)).

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.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности, по которой она рекомендуется к защите. Содержание научной новизны позволяет сделать вывод о том, что диссертация соответствует паспорту специальности 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия», в том числе пунктам:

2. Создание новых строительных материалов, обеспечивающих строительство быстровозводимых трансформируемых и долговечных зданий и сооружений.

4. Разработка методов прогнозирования и оценки стойкости строительных материалов и изделий в заданных условиях эксплуатации.

ГЛАВА 1. АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АРМИРОВАННОГО БЕТОНА

В современном бетоноведении одним из основных направлений является применение композитных материалов [18, 19, 23, 24, 60, 67]. В последнее время большое внимание уделяется армированию бетонных конструкций неметаллической композитной арматурой [22, 33, 57, 58, 61, 68-71].

«Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой» были разработаны в НИИЖБ и ИСиА в 1976 году [72].

В течение многих десятилетий металлическая арматура не имела альтернативы, несмотря на то, что коррозионная деструкция металла в железобетонных конструкциях приводит к преждевременной потере несущей способности этих конструкций, особенно при воздействии на них агрессивных сред [73-77].

Надежное сцепление арматуры с бетоном, препятствующее сдвигу стержня в бетоне, обеспечивает их совместную работу и определяется геометрическими параметрами профиля арматурного стержня. Прочность сцепления арматуры с бетоном в основном зависит от механического зацепления неровностей и выступов поверхности арматуры за бетон.

Гладкая металлическая арматура не имеет полного сцепления с бетоном по всей поверхности контакта из-за образования пустот вокруг стержня при бетонировании. Это отрицательно сказывается на трещиностойкости поверхности бетона. Поровая жидкость бетона имеет щелочную среду, поэтому с момента контакта стержня стальной арматуры с бетоном начинаются избирательные процессы коррозии поверхности арматурного стержня [78, 79]. Коррозия стальной арматуры является одним из главных факторов, оказывающих влияние на прочность железобетонной конструкции, и в целом на ее несущую способность [37, 76, 78]. В настоящее

время, несмотря на высокую степень коррозионной деструкции стальной арматуры, в большинстве строительных конструкций из бетона для армирования используется именно металлическая арматура. Однако с 70-х годов XX века проводятся исследования в направлении замены стальной арматуры на высокопрочные композитные материалы, например, из стекловолокна, углеродных, базальтовых или арамидных волокон [10, 80, 210, 215, 216].

Согласно диаграмме Тутти (рис. 1.1) [217], коррозия железобетона протекает в две фазы и напрямую связана с коррозией стальной арматуры. В течение начальной фазы стальная арматура находится под защитой слоя бетона. Продолжительность этой фазы определяется скоростью проникновения агрессивных частиц через слой бетона к поверхности арматуры и протекающими в бетоне коррозионными процессами [218]. Вторая фаза начинается после депассивации поверхности стальной арматуры и заканчивается процессами деструкции структуры железобетонного элемента конструкции вследствие накопления продуктов коррозии арматуры [81].

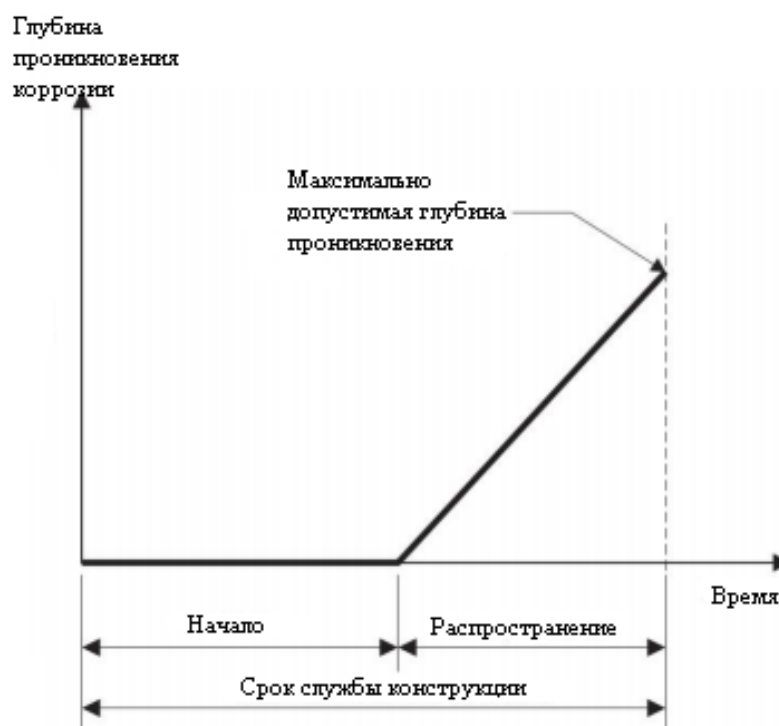


Рис. 1.1. Периоды начала и развития коррозии железобетонных конструкций [217]

При коррозии бетона, армированного композитной арматурой, срок службы изделия будет определяться только коррозией цементного камня, поскольку композитная арматура не подвергается воздействию большинства агрессивных сред [18, 82], и будет зависеть от толщины защитного слоя бетона и скорости протекания и распространения коррозионных процессов в бетоне.

Опыт строительства с применением композитной арматуры (FRP) в зарубежных странах сводится к строительству гидротехнических сооружений: портов и мостов (мосты в городах Поттер Каунти и Беттендорф, США), уникальных гражданских зданий и сооружений, медицинских центров (например, здание МРТ Национального института здравоохранения, г. Бетесда, США), метрополитенов (элементы тубингов и шпалы) [78, 209, 219].

Отечественный опыт применения композитной арматуры в строительстве начался с установки линий электропередач со стеклопластбетонными траверсами, армирования стеклопластиковыми стержнями элементов конструкций арок при строительстве складов, возведения армированных стеклопластиковыми стержнями деревянных мостов в Приморском и Хабаровском крае (1981 и 1989 гг.) [83-85]. В настоящее время полимеркомпозитную арматуру применяют при строительстве покрытий аэродромов [86] и автомобильных дорог, например, в 2010 г. композитная арматура была использована при укладке дорожного полотна участка автодороги «Европа – Западный Китай», пролегающего на территории Республики Татарстан [87, 88].

1.1. ВИДЫ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ, СПОСОБЫ И ОСОБЕННОСТИ АНКЕРОВКИ

Согласно ТУ 2296-001-37254847-2012. «Арматура неметаллическая. Композит» и ГОСТ 31938-2012 (Приложение 3) существуют следующие виды композитной арматуры (рис. 1.2): 1) АСП – стеклопластиковая арматура со спиралевидным поперечным рифлением, изготавливаемая из стекловолокна и смолы; 2) АБП – базальтопластиковая арматура с двойным поперечным

рифлением, изготавливаемая из базальтового волокна и смолы; 3) АСПЭТ – арматура из стеклоармированного полиэтилентерефталата с поперечным рифлением, изготавливаемая из стекловолокна и термопластичного полимера; 4) АУП – углепластиковая арматура из углеродных волокон с поперечным рифлением, изготавливаемая из углепластикового жгута и смолы; 5) ААК – арматура арамидокомпозитная; 6) АКК – арматура комбинированная композитная (введена на основании данных зарубежных авторов). В настоящее время в научных исследованиях отечественных авторов проявляется все больший интерес к такому виду арматуры [89-92]. Наибольшее распространение получили АСП и АБП ввиду доступности ривинга, относительной дешевизны, малой трудоемкости изготовления и высоких физико-химических показателей готового изделия. АСП и АБП находятся в свободной продаже: отпуск производится либо стержнями фиксированной длины (6 или 12 м для диаметра стержня 12 мм и более), либо бухтой до 300 м при диаметре стержня 10 мм и менее.



1) АСП



2) АБП



3) АСПЭТ



4) АУП



5) ААК



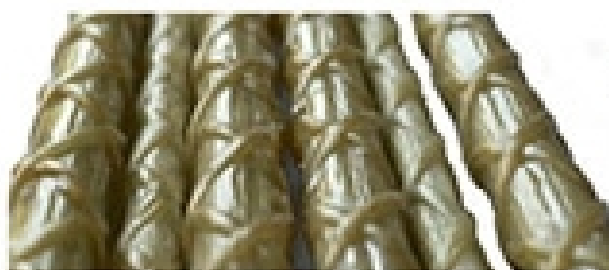
6) АКК

Рис. 1.2. Виды композитной арматуры

Неметаллическая арматура выпускается в виде стержней из стеклянных или базальтовых волокон, пропитанных химически стойким полимером, со спиральным рельефом. Рифленая поверхность арматуры создается посредством нанесения песчаного покрытия или спиральной обмоткой жгутом стержня в процессе его формирования (рис. 1.3). Стержни неметаллической композитной арматуры производятся двумя методами. Метод пултрузии заключается в протяжке ровинга, пропитанного жидким связующим, через фильеру круглого сечения с одновременной обмоткой сформированного стержня по спирали тонким жгутом или покрытием кварцевым песком [92]. Другой метод – нидлтрузии – бесфильерный, при котором формирование круглого стержня из собранных в пучок пропитанных прядей ровинга осуществляется посредством винтовой обмотки его двумя такими же прядями при непрерывной протяжке стержня с заданной скоростью [21, 93].



ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ОДИНАРНЫЙ



ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ДВОЙНОЙ

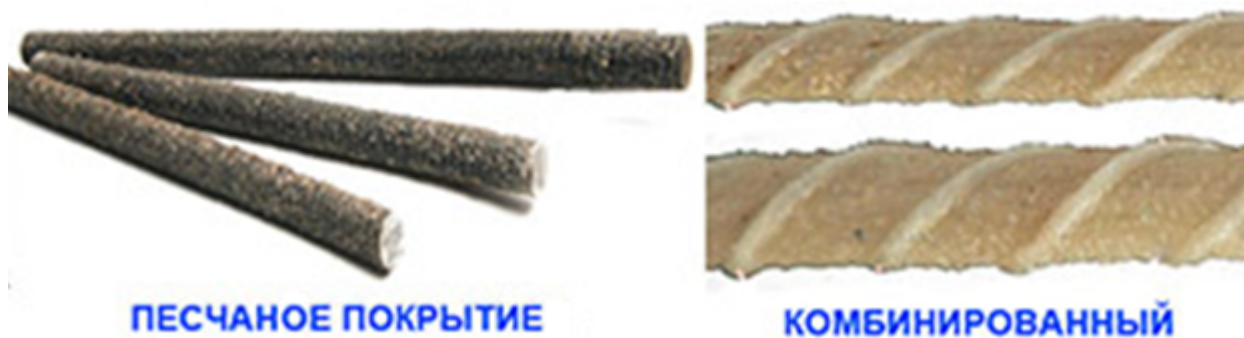


Рис. 1.3. Виды профилей композитной арматуры

Одной из важных характеристик совместной работы бетона и арматуры является прочность анкеровки арматурного стержня в бетоне. Прочность анкеровки зависит от таких параметров бетона, как прочность, плотность и химический состав, от вида профиля прутка и технологии его формирования (горячекатаный или холоднодеформированный), предела прочности композитной арматуры [94]. Изменение любого из этих параметров влияет на базовую длину анкеровки как в сторону ее увеличения, так и в сторону ее уменьшения [94].

Стеклокомпозитная арматура является волокнистым трансверсально-изотропным материалом, обладает высокой прочностью при растяжении вдоль волокон и низкой прочностью при сжатии в поперечном направлении [92, 96, 210, 216].

Базовая длина анкеровки арматуры рассчитывается по формуле (1.1) (СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции»), которая применима также к неметаллической композитной арматуре [97]:

$$l_{0,an} = \frac{R_s \cdot A_s}{R_{bond} \cdot u_s} \quad (1.1)$$

где R_s – расчетное значение сопротивления арматуры растяжению, кН/м²; A_s – площадь поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры, определяемая по номинальному диаметру стержня, м²; R_{bond} – расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном, кН/м²; u_s – периметр поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры, определяемый по номинальному диаметру стержня, м.

Для определения средневзвешенного расчетного сопротивления сцепления арматурного стержня с бетоном (R_{bond}) для партии арматуры [67, 98] с целью получения данных длины анкеровки для определенной марки бетона и неметаллической композитной арматуры используют следующую формулу:

$$R_{bond} = \frac{N}{A_t}, \quad (1.2)$$

где N – усилие выдергивания стержня из бетона, кН; A_t – площадь поверхности арматуры, находящаяся в контакте с бетоном, м².

Применение композитной арматуры в силовых элементах конструкций ограничено по причине низкого сцепления арматурного стержня с бетоном [56, 88, 220-222]. В значительной степени причиной низкого сцепления является невысокий модуль упругости прутка арматуры и его сужение при растяжении [210, 215].

Поскольку композитная арматура не имеет характерного ярко выраженного профиля, была выдвинута гипотеза о том, что адгезия является ключевым фактором в прочности анкеровки стержня композитной арматуры [99, 100].

Композиты работают за счет приклеивания к поверхности матрицей композита и передачи усилий на наполнитель, например, стекловолокно. Таким образом обеспечивается совместная работа усиленной конструкции, где часть напряжений передается на усиление. В случае с композитной арматурой в роли клея выступает цементное вяжущее, а композитная арматура, в целом, является композитом [23].

В композитной арматуре матрица (термореактивная смола) связывает наполнитель (волокно) для придания однородности композиту, а также для передачи и перераспределения напряжений на волокна наполнителя от армируемой конструкции. Наполнитель (волокно) защищен от воздействия внешней среды эпоксидной смолой, которая устойчива в растворах слабых кислот и щелочей [10, 42]. Вокруг основного стержня композитной арматуры

располагается навивка (тонкий жгут из стекловолокна со спиралевидным продольным расположением стекловолокна), которая приклеивается к поверхности прутка при помощи полимерного связующего [101]. Навивка выполняет функцию зацепления за бетон и передает усилия на основной стержень при помощи клея.

В этом случае совместная работа композитной арматуры в зоне анкеровки будет зависеть от того, насколько велика сила обжатия вследствие усадки, и как изменятся геометрические характеристики в процессе обжатия [102, 103]. Площадь приклеивания навивки к поверхности арматуры настолько мала, что при натуральных испытаниях на вырывание она частично отрывается от тела стержня и выключается из работы [101].

Рис. 1.4 наглядно демонстрирует, что при производстве изделия используется определенный способ, при котором на поверхности композитной арматуры образуются выступы, способствующие сцеплению между арматурным стержнем и бетоном.

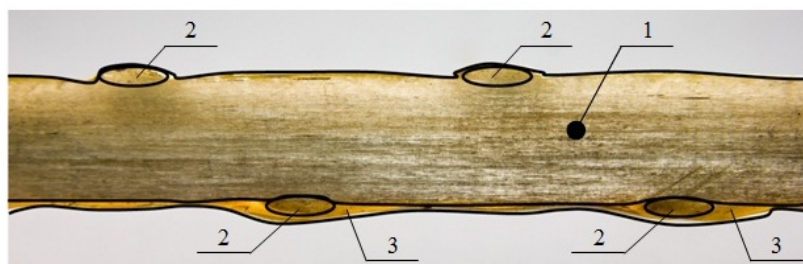


Рис. 1.4. Продольный срез стеклокомпозитной арматуры:

1 – основное тело, 2 – профиль, 3 – подтеки эпоксидной смолы

В настоящее время производство и использование стеклокомпозитных арматурных стержней осуществляются в небольшом масштабе, поскольку они находятся на экспериментальной стадии на рынке строительных материалов. Многие исследования [104, 207, 223] посвящены изучению поведения таких стержней во времени. В результате ограниченного производства стоимость композитной арматуры очень высока; с другой стороны, практически не требуются ремонт и восстановление изделий, армированных стеклокомпозитной арматурой. Более того, значение собственной массы

конструкции с применением композитной арматуры будет ниже, по сравнению с железобетоном, что будет уменьшать ее стоимость.

Некоторые сооружения в Канаде, например, конструкции в портах или пристани, были упрочнены посредством использования стержней из стеклопластиковых волокон [224]. Эти конструкции состоят из толстых стен сборного железобетона, сконструированного с максимальным пределом прочности 450 МПа. Они подвергались изменению температур от +35 до -35 °С [225]. Мосты в Квебеке, Онтарио и на Острове Ванкувер в Канаде, на которых используется соль для борьбы с обледенением, были построены с применением стеклокомпозитной арматуры. Были проведены тесты на всех этих сооружениях посредством отбора проб; армированный бетон был исследован на рентгеновском аппарате. Конструкции достигали возраста от 5 до 8 лет. Исследования показали [223], что различные факторы, включающие циклы высушивания и увлажнения, не оказывают влияния на композитную арматуру.

Снимки, полученные на электронном микроскопе, подтвердили прочные связи между стеклопластиковыми стержнями и бетоном. Максимальный предел прочности составил около 597,5 МПа и максимальное усилие связи – 118 МПа; модуль упругости композитной арматуры был в пять раз меньше, чем модуль упругости стали [206, 225]. Чтобы преодолеть проблемы разрушения изделия, которые могут происходить при проскальзывании стержня композитной арматуры, рекомендуется, чтобы напряжение при растяжении было не более 20 % от максимального предела прочности на растяжение.

1.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ

В прошлом столетии были проведены различные теоретические и практические исследования по замещению стальной арматуры на стеклокомпозитную, поскольку этот материал не подвергается коррозии, и его применение было бы экономически выгодно в течение всего срока службы

сооружения [2, 18, 19, 22, 23, 60, 68-72]. Арматура, изготовленная из стекловолокна, называется стеклокомпозитной (АСК). Форма стеклокомпозитной арматуры, такая же, как у катаного стального профиля, является более дорогостоящей, по сравнению с традиционными стальными секциями. С другой стороны, при использовании стеклокомпозитной арматуры не возникает причин для восстановительных и ремонтных работ, являющихся последствиями коррозии, поскольку такая арматура не подвергается коррозии в тех условиях, в которых может находиться конструкция [5, 10, 15, 17]. Более того, стеклокомпозитная арматура очень легкая, плотность стекловолокна составляет 2500 кг/м³; плотность стали – 7850 кг/м³. Таким образом, стеклокомпозитная арматура более чем в три раза легче стальной [10].

Стеклокомпозитная арматура экологична, не выделяет вредных и токсичных веществ при эксплуатации. Она является нержавеющей материалом первой группы химической стойкости, тогда как стальная арматура корродирует с выделением продуктов коррозии в виде ржавчины [2, 79].

1.2.1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ

Вокруг применения стеклокомпозитной арматуры разгорается немало споров, в которых оппонирующие стороны приводят убедительные доводы «за» и «против» ее использования, а также описывают положительные и отрицательные свойства стеклокомпозита. В связи с этим необходимо провести сравнение основных характеристик стальной и стеклокомпозитной арматуры.

В таблице 1.1 представлены некоторые физико-механические свойства стеклокомпозитной и стальной арматуры (ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций; ГОСТ

32492-2013. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик).

Расчетное сопротивление разрыву стеклокомпозитной арматуры превышает расчетное сопротивление разрыву стальной арматуры класса АIII (А400) в 3 раза [10, 105]. Поскольку стеклокомпозитная арматура не имеет предела текучести, а стальная – имеет, то сравниваются предел текучести стальной арматуры и предел прочности на разрыв стеклокомпозитной арматуры [210]. При этом необходимо учитывать коэффициенты запаса, значения которых в нормативной литературе еще не представлены.

Таблица 1.1

Сравнительные характеристики стеклокомпозитной и стальной арматуры

Показатель	Единица измерения	АСК	Стальная арматура класса АIII (А400) ГОСТ 5781-82
Плотность	кг/м ³	1900	7700-7900
Модуль упругости	МПа	45000	200000
Временное сопротивление при растяжении	МПа	600-1200 (с увеличением диаметра уменьшается)	360
Теплопроводность	Вт/(м*К)	Нетеплопроводна (0,48)	47-52
Электропроводность	См/м	Неэлектропроводна – диэлектрик	7 690 000
Относительное удлинение	%	2,2	Не менее 14
Коэффициент линейного расширения	$\alpha \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	9-12	13-15

Возможность использования стеклокомпозитной арматуры в сжатых элементах в достаточной форме не описана в имеющихся научных исследованиях, значение расчетного сопротивления сжатию не указано [57, 106, 226, 227]. Однако не представляет особого труда вывести закономерности и факторы, влияющие на прочность стеклокомпозитной арматуры, в ходе проведения натуральных испытаний и последующей статистической обработкой полученных данных.

В литературе не представлено результатов сравнительных испытаний и для стеклокомпозитной арматуры под нагрузкой разных видов (при кратковременном, длительном, периодическом и динамическом приложении нагрузки), показателей усталости и обобщенных данных о подверженности стеклокомпозитной арматуры деформации при различных нагрузках [60, 107]. Имеющиеся данные показывают различие характера разрушения в зависимости от метода испытаний, что указывает на различность и недооцененность условий реальной работы стержней стеклокомпозитной арматуры в бетоне [108-111].

Все формулы для расчета изделий и конструкций из железобетона выведены эмпирическим путем, то есть изготавливают конкретный элемент, испытывают до разрушения, а затем выводят расчетные формулы таким образом, чтобы они описывали работу данного элемента наиболее близко к фактическим замерам в процессе проведения испытаний. И такие испытания проводят с огромным количеством конструкций, марок сталей и бетонов. При получении сведений о деформациях или разрушениях железобетонных конструкций в процессе эксплуатации формулы были модернизированы [112]. Следовательно, для стеклокомпозитной арматуры необходимо провести такие же исследования, которые проводились в течение последних 70 лет для стальной арматурой.

Стеклокомпозитная арматура не имеет площадки текучести, наблюдается прямая линия упруго-линейной зависимости до разрушения. При достижении определенной нагрузки стеклокомпозитная не

приобретает свойство значительного удлинения как стальная, а просто разрывается [10, 113, 114, 216]. Это серьезный недостаток стекловолокна, который многие производители описывают как положительный момент, являющийся на самом деле сильно отрицательным.

У стеклопластика модуль упругости (~ 43000 МПа) в 4-5 раз меньше, чем у стали (200000 МПа), так что без предварительного напряжения стеклокомпозитная арматура, установленная из условия прочности на растяжение, не успевает включиться в работу, поэтому при прогибе плиты или балки бетон, условно говоря, будет обсыпаться с арматурного стержня [2, 10]. Применение стеклокомпозитной арматуры только из условия упругости требует увеличения сечения арматурного стержня относительно стальной как минимум в 3-4 раза. Однако нельзя однозначно предугадать, окажет ли это необходимое действие, поскольку нужна программа натурных испытаний.

С другой стороны, у бетона класса В25 начальный модуль упругости 20000-30000 МПа, что меньше, чем у стеклопластика. Таким образом, необходимо учитывать особенности физико-механических свойств материала при использовании стеклокомпозитной арматуры. А композитная арматура из углеволокна, например, имеет прочность 2,5-3,5 ГПа и модуль упругости 200-450 ГПа (то есть прочность в 10 раз выше стали, и модуль упругости выше, чем у стали).

Удельный вес стеклокомпозитной арматуры более чем в 3 раза меньше, чем у стальной [2, 10]. Тяжелый (конструкционный) бетон имеет плотность 2400 кг/м³, железобетон – 2500 кг/м³. Разница составляет всего 4 %, что достаточно мало для строительных железобетонных конструкций. Таким образом, вес стеклокомпозитной арматуры не влияет на вес армированного бетонного изделия, однако ее использование в конструкциях обеспечивает снижение нагрузки на фундамент, несущие стены и в целом на каркас здания.

Но если рассматривать вес стеклокомпозитной арматуры не в составе конструкции, а в качестве строительного материала, доставка которого стоит иногда немалых средств, разница в весе в 4 раза будет весьма значительной.

Коэффициенты теплового расширения стеклокомпозитной арматуры и бетона практически совпадают, что снижает трещинообразование в конструкциях. Тепловое расширение железобетонных конструкций принимается по характеристике бетона, и борьба с данными напряжениями ведется путем рассечения зданий на отдельные температурно-усадочные блоки. Стальная арматура позволяет увеличивать величину этих блоков, так как сдерживает расширение бетона. А поскольку стеклокомпозитная арматура расширяется так же, как бетон, то сдерживать общее расширение конструкции она не сможет [2]. Величину температурно-усадочного блока не получится увеличить посредством дополнительного армирования стеклокомпозитной арматурой.

Теплопроводность стеклокомпозитной арматуры в 100 раз меньше, чем у стали (отсутствие «мостиков холода» в конструкциях) [2]. «Мостики холода» проходят по бетону, поскольку это искусственный камень. А тип уложенной внутри бетона арматуры особого значения не имеет.

Помимо химических веществ, на арматуру в процессе эксплуатации могут временно или постоянно действовать пониженные или повышенные температуры. Стеклокомпозитная арматура не теряет свойства при низких температурах. Температура ее эксплуатации от $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. При постоянном действии пониженных температур (до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) прочность стеклокомпозитной арматуры возрастает на 40 % от начального значения. Это, вероятно, происходит из-за снижения расклинивающего эффекта, который уменьшается при удалении влаги из стержня [10, 115]. При воздействии повышенных температур наблюдается снижение прочности стеклокомпозитной арматуры. Уменьшение прочности на 10 % от начального значения происходит уже при нагреве стержня до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нелинейно уменьшается при дальнейшем возрастании температуры [116]. В этом случае

на прочность влияет эффект расклинивания при превращении влаги внутри стержня в пар и проявления пластичности матрицы, которая возрастает с повышением температуры. При достижении температуры 350 °С происходит деструкция матрицы, и прочность арматуры составляет менее 50 % от начального значения [228].

Следует отметить, что при выдерживании стержней стеклокомпозитной арматуры при температуре от -40 до +350 °С и последующем использовании при комнатных температурах ее прочность восстанавливается до первоначальных значений. При температурах выше 350 °С потеря прочности необратима [59].

Стеклокомпозитная арматура радиопрозрачна (стержни не создают экранирующего эффекта) [101]. Перечень строительных материалов, эффективно экранирующих электромагнитные поля широкого диапазона частот, ограничен. Исследования показывают [117, 118], что такие строительные материалы как кирпич, бетон, шлакоблоки и другие в той или иной степени ослабляют электромагнитную энергию. Поэтому радиопрозрачность стеклокомпозитной арматуры не имеет особого значения.

Стеклокомпозитная арматура является диэлектриком [2, 10]. Это свойство может быть полезным в помещениях, где требуется экранирование от распространения электромагнитных волн, чтобы установленные высокочувствительные приборы не давали сбоев.

Длина стеклокомпозитного арматурного стержня не ограничена (оборудование позволяет обеспечить изготовление стержней любой длины по требованиям заказчика). Длина стержней обычно ограничивается 6 или 12 м для прутка диаметром более 12 мм, который в бобины скрутить не представляется возможным [119]. Но этот фактор не имеет особого значения в строительстве, так как длинные стержни неудобно кантовать, да и нет особой надобности в длине прутка более 12 м (стандарт для стальной арматуры). С увеличением длины арматурного стержня снижается его прочность, поскольку увеличивается количество дефектов стекловолокна [10].

При укладке стеклокомпозитной арматуры отсутствуют сварочные работы [16]. Затруднительно соединить стержни стеклокомпозитной арматуры без перехлеста или использования какой-нибудь муфты, что в условиях насыщенности арматурой бетонного изделия бывает крайне необходимо. Также отсутствует возможность выполнить закладную деталь, нарастить арматурные выпуски.

Также в нормативно-технической документации ничего не говорится о возможности и методах загиба стеклокомпозитных стержней (скорость, спецустройства, потребность в энергии, потеря прочностных характеристик материала при загибе) [60], что необходимо при армировании большинства конструкций. Нет конструктивных требований по загибам, минимальным радиусам, радиусам для нормальной анкеровки стеклокомпозитной арматуры и пр. Предполагается, что стеклокомпозитная арматура при изгибе возвращается в исходное прямолинейное положение и гнутые элементы выполняются производителями только под заказ [10].

Стеклопластик имеет значительно более низкий модуль упругости, что приводит к повышенному трещинообразованию при выполнении требований по прочности изделия на растяжение (низкая трещиностойкость) [206, 210, 216].

Прогнозируемая долговечность стеклокомпозитной арматуры не менее 80 лет [10]. Стальная арматура со временем не меняет своих свойств, а для стеклокомпозитной арматуры долговечность только прогнозируется, поскольку фактических данных об этом нет.

С учетом высоких требований по огнестойкости конструкций в РФ использование стеклокомпозитной арматуры для армирования несущих конструкций затруднено [10]. Температура плавления связующего стеклокомпозитной арматуры порядка 130-200 °С, тогда как стальная арматура не теряет своих свойств при нагреве до 600 °С и после снижения температуры.

Для стеклокомпозитной арматуры разработаны ГОСТы и другие нормативные документы, дающие единые требования на уровне государственных или международных стандартов к механическим свойствам, методам контроля и правилам приемки стеклокомпозитной арматуры (Приложение 4):

1. ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия
2. ГОСТ 32486-2013. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определений характеристик долговечности.
3. ГОСТ 32487-2013. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам.
4. ГОСТ 32492-2013. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик.
5. СТО НОСТРОЙ 2.6.90-2013. Применение в строительных бетонных и геотехнических конструкциях неметаллической композитной арматуры.
6. ТУ 2296-001-37254847-2012. Арматура неметаллическая. Композитная.
7. ТР 013-1-04. Технические рекомендации по применению неметаллической композитной арматуры периодического профиля в бетонных конструкциях.
8. СТО-02495307-007-2012. Применение неметаллической композитной арматуры АСП и АБП в бетонных конструкциях.
9. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
10. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
11. СП 295.1325800.2017 Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования.

В действующих технических нормативно-правовых актах композитная арматура упоминается в пп. 6.10 и 8.13 ГОСТ 31384-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии:

– «п. 6.10: В среднеагрессивных и сильноагрессивных средах для армирования конструкций без предварительного напряжения рекомендуется применять неметаллическую композиционную арматуру, за исключением изгибаемых элементов»;

– «п. 8.13: В конструкциях, подвергающихся электрокоррозии, допускается заменять стальную арматуру на неметаллическую (базальтопластиковую, стеклопластиковую и др.) при соответствующем обосновании».

За рубежом также разработан ряд нормативных документов, регламентирующих расчет и применение композитной арматуры в строительстве зданий и сооружений:

США:

– ACI 440R-07. Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures;

– ACI 440.1R-2006. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars;

– ACI 440.3R-04. Guide for Test Methods for Fiber Reinforced Polymers (FRP) for Reinforcing and Strengthening Concrete Structures;

– ACI 440.5-08. Specification for Construction with Fiber - Reinforced Polymer Reinforcing Bar;

– ACI 440.6-08. Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete;

– ACI 440.7R-10. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Unreinforced Masonry Structures;

– ACI 440.4R-04. Prestressing Concrete Structures with FRP Tendons (Reapproved 2011);

– LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP-Reinforced Concrete Bridge Decks and Traffic Railings;

Канада:

– CAN/CSA-S806-02 «Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers»;

– CAN/CSA-S6-06 «Canadian Highway Bridge Design Code»;

– Design Manual No. 3, «Reinforcing Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers»;

Япония:

– Japan Society of Civil Engineers (JSCE). Concrete Engineering Series 23, «Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforced Materials»;

– Design Manual «Seismic retrofitting design and construction guidelines for existing reinforced concrete (RC) buildings with FRP materials»;

Швейцария:

– Fib Bulletin No. 40, «FRP Reinforcement in RC Structures»;

Италия:

– CNR-DT 203/2006, «Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars»;

Украина:

– ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровингу.

1.2.2. ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ

К достоинствам стеклокомпозитной арматуры относят устойчивость к различным химическим средам, например, к воздействию растворов кислот и щелочей [15, 17, 18]. Такая стойкость связана со специфическим строением композитов из матрицы полимерного композита (отвержденной

терморезактивной смолы) и армирующего наполнителя (минерального, стекло- или иного волокна) [10].

Матрица связывает наполнитель для придания однородности композиту, передает и перераспределяет напряжения на волокна наполнителя от армируемой конструкции.

Таким образом, наполнитель (стекловолокно) защищен от воздействия внешней среды эпоксидной смолой, которая устойчива к действию растворов слабых кислот и щелочей [10].

В случае применения стеклокомпозитной арматуры для армирования бетонных конструкций, в момент твердения и набора бетоном прочности на арматуру действует слабощелочная среда [5, 10, 15]. Поскольку матрица может иметь микротрещины, возникающие при транспортировке изделия и работе конструкции, внешняя среда может проникнуть внутрь арматурного стеклокомпозитного стержня и воздействовать непосредственно на наполнитель. Эксперименты, проведенные в 70-х годах прошлого века, свидетельствуют, что при проникновении растворов в стержень стеклокомпозитной арматуры в наполнителе может возникнуть расклинивающий эффект [10, 17]. Данный эффект выражается в заполнении микротрещин стекловолокна растворами, которые за счет поверхностного натяжения ослабляют сечение волокна, а также вызывают отслоения стекловолокна от матрицы. Отслоение делает невозможным передачу напряжений от других волокон через матрицу. Прочностные испытания на разрыв стержней стеклокомпозитной арматуры, выдержанных в щелочных растворах, говорят о снижении их прочности более чем на 10 %, что следует учитывать при расчете конструкций [10, 120].

Но вне зависимости от вида используемой для армирования арматуры требуется применять бетон достаточной плотности, то есть химически стойкий, чтобы он сам не разрушался от воздействия агрессивной среды. Также необходимо учитывать, что при эксплуатации изделий в воздушной

среде с влажностью более 70 % стеклокомпозитная арматура будет терять прочность в течение всего срока эксплуатации [10, 121].

1.3. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АРМИРОВАННОГО БЕТОНА

В ряде стран научные исследования в области изучения свойств неметаллической композитной арматуры и использования ее в различных сооружениях в последние десятилетия продвинулись значительно дальше [207, 208, 219, 224-227, 229, 231, 232].

В Германии разработана и подробно изучена композитная арматура диаметром 7,5 мм из алюмоборосиликатного стекловолокна и полиэфирной смолы под названием «Полисталь» [122]. Испытания на статические, динамические и длительные нагрузки позволили установить следующие исходные характеристики этой арматуры: кратковременная прочность на растяжение – 1650 МПа, модуль упругости – 51000 МПа, удлинение при разрыве – 3,3 %, долговременная прочность – 1100 МПа, потери напряжения от релаксации – 3,2 %, перепад напряжений при $2 \cdot 10^6$ циклов нагружений – 55 МПа, коэффициент температурного расширения – $7 \cdot 10^{-6}$.

В Японии учеными проведен значительный комплекс исследований на опытных балочных конструкциях с различными видами неметаллической арматуры, возведены автомобильные и пешеходные мосты небольших пролетов [123, 229]. Ведутся активные поиски целесообразного применения углепластиковой арматуры в различных областях строительства [25, 124, 125]: так, например, высокопрочные ленты различного поперечного сечения из углепластика начали применять для усиления ответственных элементов железобетонных конструкций в эксплуатируемых сооружениях.

Первые армированные арамидными волокнами строительные конструкции были возведены в Нидерландах [122]. Накопленный материал по исследованию свойств такой арматуры прямоугольного и круглого сечений был впервые доложен на конгрессе ФИП в 1986 г. [4] и вызвал большой интерес. Позднее в этой стране была разработана композитная проволока из углеродных волокон и эпоксидного связующего диаметром 5 мм [126]. Временное сопротивление такой проволоки колеблется от 2300 до 3300 МПа в зависимости от прочности углеродного волокна и доли его содержания в сечении. Производство такой проволоки запущено, и получен опыт ее применения в качестве напрягаемой арматуры в сваях. Отмечается перспективность применения пучков из композитной проволоки в канатах большепролетных мостов и для внешнего армирования различных преднапряженных конструкций [122].

В последние десятилетия к исследованиям конструкций с высокопрочной неметаллической арматурой присоединились ученые ряда других технически развитых стран: США, Канада, Франция, Англия и др. [224, 230, 233]. Массовый эксперимент был выполнен совместно учеными США и Канады на одном пролете предварительно напряженного балочного автодорожного моста, армированного проволокой и канатами из углепластика японского производства [127, 207]. Широкое применение современных измерительных систем и продолжение испытания вплоть до разрушения изделия позволили получить обширный комплекс данных, необходимых для положительной оценки работоспособности мостов с такой арматурой [208].

В основном в бетонных конструкциях применяется композитная арматура диаметром от 4 до 8 мм, так как физико-механические характеристики стержней данных диаметров позволяют изготовить типовые армированные бетонные конструкции с нужными характеристиками [67].

Перспективным является применение в асфальтобетоне неметаллической арматуры диаметром 4 мм, что может дать определенный экономический эффект, для дорожных плит рекомендуется применять арматуру неметаллическую базальтопластиковую диаметром 6 мм. Имеются примеры ее эффективного применения [59, 91, 128]. Сетка из стеклопластиковой арматуры со следующими характеристиками: временное сопротивление разрыву – 1100 МПа, модуль упругости при разрыве – 50000 МПа, относительное удлинение – 2,2 %, экспериментально внедрена в опытные участки дороги [124, 129-131].

Также перспективным можно считать следующее направление – применение неметаллической арматуры для ремонтно-восстановительных работ в транспортном строительстве [73]. Это обусловлено высокими механическими свойствами композитной арматуры.

В настоящее время композитную арматуру используют для замещения секций из стальной сетки, поручней и лестниц в прибрежных нефтедобывающих платформах [225], в мостовых настилах [232], для изготовления пешеходных мостов [120], для изготовления балок-перемычек [32, 113, 132], для изготовления деревянных клееных конструкций [8, 10] и стеклопластбетонных панелей [10].

Отмечено, что вес композитной арматуры очень низкий и ее сопротивление намного больше, чем сопротивление стали [10], поэтому ее можно использовать для надстройки этажей к существующим зданиям.

1.4. КОРРОЗИЯ БЕТОНА

Причины разрушения бетона могут быть классифицированы следующим образом (рис. 1.5): физические (вызываемые природными температурными изменениями, такими как циклы замораживания-оттаивания, или искусственными, например, пожары и возгорания), механические (истирание, эрозия, сотрясение, взрыв), химические (действие кислот, сульфатов, ионов магния и аммония, чистой воды или реакции щелочных

составляющих), биологические (загрязнение, биогенное воздействие) и структурные (перенагрузки, осадка, циклическая нагрузка). На практике эти процессы могут происходить одновременно, часто вызывая синергетическое действие [234-236].

Изменения, которые происходят в бетоне до того, как структура была сформирована, с первых часов до месяцев после заливки (процессы трещинообразования, происходящие из-за пластической усадки, пластическая усадка, растрескивание при сушке, оползание, термическая усадка), традиционно не рассматриваются как явления разрушения, хотя они являются важными для долговечности конструкции [133-138].

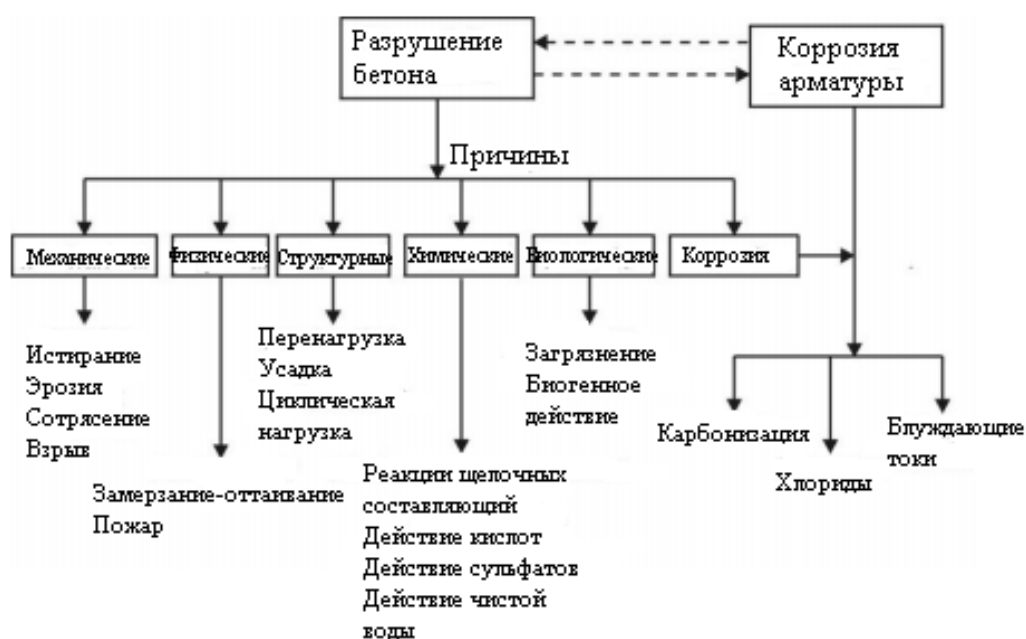


Рис. 1.5. Причины разрушения железобетонных конструкций [237]

По классификации профессора В.М. Москвина выделяется коррозия первого, второго и третьего видов [73]. Под коррозией бетона первого (I) вида (выщелачивание) подразумевается растворение и вымывание (выщелачивание) из него растворимых составных компонентов [139]. В результате происходит увеличение проницаемости бетона и снижение его прочности. При коррозии бетона второго (II) вида в нем образуются продукты коррозии, не обладающие вяжущими свойствами [139]. Этот вид коррозии

включает процессы, при которых происходят химические взаимодействия (обменные реакции) между компонентами цементного камня и агрессивной средой. Образующиеся продукты реакции либо являются легкорастворимыми и выносятся из структуры бетона в результате диффузии влаги, или отлагаются в виде аморфной массы [140]. Коррозия бетона третьего (III) вида проявляется в образовании и накоплении малорастворимых солей, кристаллизующихся с увеличением объема твердых фаз [139].

Распространение CO_2 и хлорид-ионов внутри бетона, скорость движения карбонизации обычно подчиняются закону Фика (1.3). Поскольку процесс карбонизации и движение хлорид-ионов предполагают изменение характеристик поровых пустот бетона, снижение щелочности и значение pH, то эта зависимость приближительна. Изменение компонентов бетона и уровня относительной влажности по его глубине будет отклоняться от значений диффузии, рассчитанных по закону Фика (1.3) [141, 142].

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1.3)$$

где J – плотность диффузионного потока массы вещества, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; $\frac{\partial C}{\partial x}$ – градиент концентрации, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{м})$.

Выполняя интегрирование уравнения (1.3), получается уравнение, которое отражает определение продвижение карбонизации и распространения хлорид-ионов в бетоне. Эта зависимость используется в некоторых исследованиях, чтобы получить уравнения, определяющие отношение между скоростью распространения карбонизации и хлорид-ионов, качеством бетона и факторами окружающей среды [143, 144, 238]. В таблице 1.2 [239] приведены некоторые из этих уравнений и пояснения к ним.

Однако, поскольку процесс коррозии изменяет пористую структуру бетона, эти зависимости являются приближительными. Изменение структуры бетона при растрескивании и уровень влажности по его глубине также приводят к отклонениям от уравнения диффузии [145-147, 240].

Уравнения для вычисления глубины распространения агрессивной среды

Уравнения	Коэффициенты
$d=At^n$	d – глубина карбонизации в мм A – коэффициент t – время (годы) n – показатель степени, обычно равный 0,5
$d=ABCt^{0,5}$	$A=1$ для внешнего воздействия $B=0,07-1$ зависит от чистоты поверхности $C=R (B/Ц=0,25)/(0,3(1,15+3B/Ц))0,5$ Для $B/Ц \geq 0,6$ $C=0,37R(4,6B/Ц-1,7)$ для $B/Ц < 0,6$ R – коэффициент нейтрализации, функция проектирования смеси и добавок
$d=A(B(B/Ц)-C)t^{0,5}$	A – функция отверждения B и C – функции использования пыли
$d=0,43(B/Ц-0,4)(12(t-1))^{0,5}+0,1$	28-дневное отверждение
$d=0,53(B/Ц-0,3)(12t)^{0,5}+0,2$	Не отвержденный
$d=(2,6(B/Ц-0,3)^2+0,16)t^{0,5}$	Укрытый
$d=((B/Ц-0,3)^2+0,07)t^{0,5}$	Не укрытый
$d=10,3e^{-0,123f28}$ за 3 года	Не укрытый f_x – прочность на день x
$d=3,4e^{-0,34f28}$ за 3 года	Укрытый
$d=680(f28+25)^{-1,5}-0,6$ за 2 года	
$d=A+B/f28^{0,5}+c/(CaO-46)^{0,5}$	CaO – щелочность, выраженная в CaO
$d=(0,508/f35^{0,5}-0,047)(365t)^{0,5}$	
$d=0,846(10(B/Ц)/(10f7))^{0,5}-0,193-0,076B/Ц(12t)^{0,5}-0,95$	
$d=A(T-t_i)t^{0,75}C_1/C_2)^{0,5}$	t_i – время индукции T – температура, К C_1 – концентрация CO_2 C_2 – CO_2 , связанный бетоном

Рассмотрим основное уравнение таблицы 1.2:

$$d = At^n, \quad (1.4)$$

где: d – глубина карбонизации в мм, A – коэффициент, t – время (годы), n – показатель степени, обычно равный 0,5.

При проведении множества опытных измерений были получены значения коэффициентов A и n , учитывающие такие переменные, как условия воздействия (внутренние и наружные, защищенные или незащищенные), 28-дневная прочность и водоцементное соотношение [238, 239, 241, 242].

П. Шисль в 1988 г. [243] установил отношение между временем и глубиной коррозии при различных условиях воздействия среды (рис. 1.6). На рис. 1.6 изображены три кривые, которые показывают наибольшую глубину карбонизации с течением времени. Первая кривая получена при лабораторных испытаниях при температуре 20 °С и относительной влажности около 65 %. Вторая кривая соответствует бетону, находящемуся не в лабораторных условиях, но в закрытом помещении; третья кривая демонстрирует меньшую глубину коррозии, когда бетон находится на открытом пространстве [243].

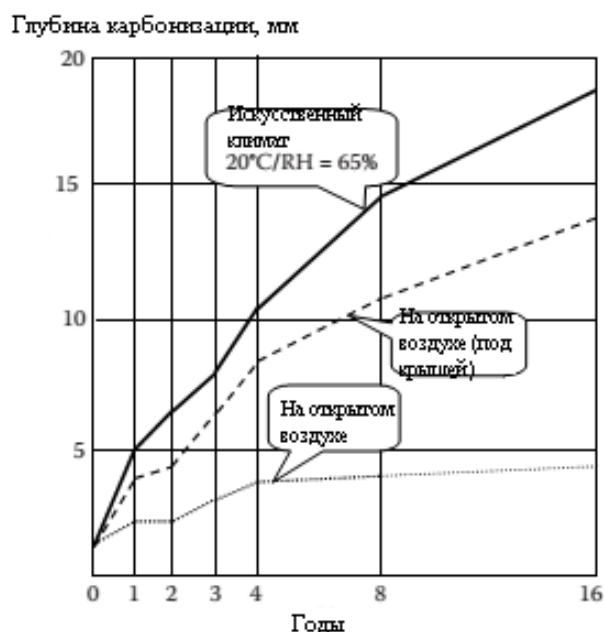


Рис. 1.6. Влияние условий среды на глубину распространения коррозии

Переменная (t) отражает время в годах. Это независимый фактор. Другие факторы зависят от условий среды: прочность бетона; водоцементное

отношение; состав используемого цемента; сопротивление бетона и содержание оксида кальция, которое также зависит от вида цемента [243].

Например, рассмотрим уравнение:

$$d = A\sqrt{t} . \quad (1.5)$$

Глубина карбонизации составляет примерно 16 мм через 16 лет у хрупкого бетона и 4 мм через 20 лет у бетона высокого качества. Таким образом, можно ожидать, что скорость диффузии находится в пределах между 0,25 и 1 мм/год.

Хорошо известно, что в мостах карбонизация почти отсутствует даже через 20 лет, поскольку при строительстве уделено особое внимание уплотнению, отверждению, составу и качеству бетона [148-152]. Однако в жилых зданиях глубина карбонизации может достигать 60 мм и более [243].

В ряде журналов [238, 241, 242] была описана методология для расчета скорости карбонизации посредством измерения воздухопроницаемости бетона специальной аппаратурой. Л.Дж. Пэррот [239] предположил, что глубина карбонизации D зависит от времени следующим образом:

$$D = aK^{0.4}t^n - C^{0.5} , \quad (1.6)$$

где: K – воздухопроницаемость (в единицах 10^{-6} м²); C – содержание оксида кальция в гидратированной цементной смеси для бетонного покрытия; $a = 64$.

Воздухопроницаемость бетона может быть рассчитана при значении относительной влажности 60 % по уравнению:

$$K = mK_{60}, \quad (1.7)$$

где: $m = 1,6 - 0,0011r - 0,0001475r^2$ или $m = 1$, если $r < 60$; $n = 0,5$ для воздействия внутри помещений, но уменьшается при влажных условиях согласно уравнению:

$$n = 0,02536 + 0,01785r - 0,0001623r^2, \quad (1.8)$$

где: r – относительная влажность, %.

Таким образом, необходимо увеличение толщины бетонного покрытия для предотвращения распространения карбонизации и хлорид-ионов внутрь

бетона. Толщина бетонного покрытия может быть рассчитана на основе измерения его воздухопроницаемости и относительной влажности [153, 238].

1.5. ГИДРОФОБИЗАЦИЯ БЕТОНА

Бетон является гидрофильным материалом. Когда сухой бетон контактирует с водой, большая часть воды поглощается его порами за счет капиллярных сил. Проникновение воды является главной причиной всех основных физико-химических процессов деградации, влияющих на бетонные изделия. Для того, чтобы избежать проникновения воды и, как следствие, возникающих в структуре бетона повреждений и карбонизации, необходимо улучшать водостойкость бетона. То есть гидрофобизацию бетона следует проводить для изделий, эксплуатируемых в водной или влажной среде, что может эффективно повысить долговечность конструкции, замедлить возникновение коррозионных процессов в бетоне и снизить стоимость жизненного цикла бетонных изделий.

Водная эрозия происходит потому, что сеть пор и капилляров способствует проникновению агрессивных частиц в бетон. Различия в компонентах, используемых для изготовления бетона, и условий эксплуатации изделий играют решающую роль в степени водостойкости и пористости бетона. Методы гидрофобной обработки бетона включают в себя снижение водоцементного отношения (В/Ц), использование проницаемой опалубки, введение водонепроницаемого агента и обработку поверхности [243, 244]. Все эти методы основаны на увеличении компактности, уменьшении пористости и улучшении шероховатости поверхности бетона.

Гидрофобный бетон – это вид бетона, на поверхности которого вода отталкивается вследствие гидрофобной обработки. На рис. 1.7 показаны гидрофильные, гидрофобные, сверхгидрофобные и супергидрофобные поверхности. Угол контакта между касательной линией капле и твердой поверхностью более 90° свидетельствует о гидрофобном поведении

материала. Когда углы контакта воды превышают 150° , поверхность становится супергидрофобной [246].



Рис. 1.7. Гидрофильные ($0^\circ < \theta < 90^\circ$), гидрофобные ($90^\circ < \theta$), сверхгидрофобные ($120^\circ < \theta < 150^\circ$), и супергидрофобные ($150^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$) поверхности, где θ угол касания [244]

Обработка поверхности в основном включает три типа [247, 248]: гидрофобная пропитка поверхности, объемная гидрофобизация и гидрофобное покрытие.

Гидрофобная пропитка означает, что поровое пространство поверхности бетона покрыто тонким слоем активного вещества, которое делает поверхность водоотталкивающей. Следовательно, капиллярное поглощение воды уменьшается, в то время как проницаемость водяным паром практически не изменяется. Чаще всего используются водоотталкивающие агенты на основе силана/силоксана [249, 250]. Эффективность этой обработки можно обосновать шероховатостью структуры бетонной поверхности. Следовательно, геометрия и химический состав бетонной поверхности совместно определяют его гидрофобность [251]. Пропитка частично или полностью заполняет поровое пространство вблизи поверхности бетона для уменьшения его проницаемости, что также может снизить диффузию водяного пара [252]. Покрытие образуется сплошным слоем на поверхности порового пространства [247]. Механизм образования гидрофобного бетона посредством пропитки в основном включает в себя следующие три этапа: проникновение раствора в пористую структуру; формирование на поверхности пор тонкого покрытия; блокировка пор.

Объемная гидрофобизация заключается во введении гидрофобизирующих добавок на стадии замешивания бетона. Комплексное смешивание может компенсировать ограничения проникновения гидрофобизирующей добавки, таким образом, гидрофобная обработка остается эффективной к проникновению воды даже при истирании поверхности подложки [253]. Добавки, повышающие сопротивление водопоглощению, существуют в твердом или жидком виде и могут быть классифицированы следующим образом: 1) материалы, которые изменяют поверхностное натяжение или поверхностную энергию в порах и трещинах, увеличивая угол контакта жидкости и, таким образом, стойкость к абсорбции (т.е. водоотталкивающие вещества, гидрофобизаторы); 2) материалы, которые повышают устойчивость к проникновению воды под давлением из-за блокировки пор в результате осаждения твердых веществ, получаемых с помощью химической реакции или путем выпадения из суспензии (т.е. уплотнители, редуторы проницаемости, кристаллические примеси) [254-258].

Гидрофобизирующие добавки обычно состоят из жирных кислот, растительных масел, животных жиров, восковых эмульсий, углеводов, силанов и силоксанов [259], полимеров [154], олеатов и стеаратов щелочных и щелочно-земельных металлов, серноокислых солей пеназолинов [195], гидрофобного порошка из бумажной золы [259], этилсиликоната натрия ГКЖ-10 и метилсиликоната натрия ГКЖ-11 [155].

Наружное покрытие представляет собой метод нанесения на поверхность бетонов гидрофобных покрытий методом погружения, нанесением раствора кистью или распылением раствора. Покрытием может быть сформировано полимерами, силанами, или добавками на основе силоксана [260].

Гидрофобный бетон также может быть разделен на три класса на основе морфологии гидрофобных добавок, включающих макроматериалы, микромаериалы и наноматериалы. Обычно используемые макродобавки в

основном включают силаны и силоксаны. Водопоглощение бетона может быть уменьшено на 89 и 75 % силанами и силоксанами соответственно [261]. Микроматериалы в основном представляют собой полимеры, а также дисперсии и эмульсии на их основе. При этом было отмечено, что снижение водопоглощения составляет до 98,96 % [262], а максимальное снижение проникновения хлоридов – до 94 % [263]. Наноматериалы, используемые в качестве гидрофобизаторов, – это наночастицы SiO_2 , ZnO_2 и глины. Углы контакта воды с бетоном, содержащим эти три наноматериала, составляют 120° , 130° и 142° соответственно [264, 265].

1.6. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

За прошедшие годы были установлены основные механизмы поведения армированного бетона в различных агрессивных средах. Исследования объяснили основы механизма коррозии и условия, которые вызывают и предполагают закономерности ее развития. Учеными разработаны методы диагностирования и контроля коррозионных процессов строительных материалов. Многочисленные исследования посвящены изучению свойств стеклокомпозитной арматуры и возможности ее применения для армирования бетонных изделий, а также работе системы «бетон – стеклокомпозитная арматура».

С учетом изложенного, **основные задачи** диссертационной работы:

- 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;

- установить влияние коррозионных повреждений бетона на сцепление с композитной стеклокомпозитной арматурой при хлоридной коррозии;

- установить влияние гидрофобизирующих добавок на коррозию бетона и сцепление бетона с композитной стеклокомпозитной арматурой при хлоридной коррозии;

- разработать вид навивки, обеспечивающий высокое сцепление стеклокомпозитной арматуры с бетоном;

- исследовать поведение стеклокомпозитной арматуры в бетоне при коррозии в жидких средах.

В соответствии с поставленными целями диссертационной работы **во второй главе** представлены методики получения экспериментальных данных, подготовки образцов к исследованию и последующей обработки результатов.

В третьей главе проанализированы результаты физико-химических исследований жидкой и твердой фаз, позволяющие судить об изменениях, происходящих в цементном камне с гидрофобизирующими добавками под воздействием жидких агрессивных сред. Установлена зависимость между изменением прочностных характеристик и структурно-фазовым составом гидрофобизированного бетона после воздействия агрессивных сред. Оценено действие гидрофобизаторов на скорость коррозии цементных бетонов в средах различной степени агрессивности. Установлен срок безремонтной эксплуатации гидрофобизированного бетона в сильноагрессивной среде.

В четвертой главе приведено описание вида навивки периодического профиля для стеклокомпозитной арматуры. Проведены исследования сцепления стеклокомпозитной арматуры с различными видами навивки с бетоном. Оценено влияние агрессивных сред на прочность сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном.

В заключении изложены основные результаты диссертационной работы, представляющие научную и практическую ценность, а также перспективы для дальнейших исследований по тематике диссертационного исследования.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ, ПРИБОРЫ И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Портландцемент. Для изготовления исследуемых образцов в качестве вяжущего использован портландцемент с нормированным составом без минеральных добавок марки ПЦ 500-Д0 ОАО «Осколцемент» (Белгородская обл., г. Старый Оскол). Выбор данной марки портландцемента не случаен, так как по мнению компетентных источников она является наиболее распространенной и востребованной на внутреннем рынке России [156, 157]. Установленный паспортом качества (Приложение 5) химический состав портландцемента представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Химический состав портландцемента марки ПЦ 500-Д0, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	ППП	CaO _{св}
21,55	5,55	4,7	62,93	0,76	2,37	0,54	1,15	0,45

В таблице 2.2 приведен минералогический состав портландцемента марки ПЦ 500-Д0.

Таблица 2.2

Содержание основных минералов в портландцементе марки ПЦ 500-Д0, %

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₃ AF	ТЭА
68,1	11,0	8,7	11,9	0,3

Строительно-технические свойства портландцемента марки ПЦ 500-Д0 определены методами, установленными ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема» и ГОСТ 310.4-81

«Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» (Приложение 4), и приведены в таблицах 2.3 и 2.4.

Портландцемент марки ПЦ 500-Д0 имеет следующие свойства (Приложение 5): нормальная густота цементного теста – 26 %; начало схватывания – 2,4 ч; конец схватывания – 3,3 ч; активность при пропаривании – 37,4 МПа.

Таблица 2.3

Физические свойства портландцемента

Марка портланд-цемента	Тонкость помола, %	Удельная поверхность, м ² /кг	Сроки схватывания, мин.		Нормальная густота, %
			начало	конец	
ПЦ 500-Д-0	5,0-8,0	320-325	115-135	130-160	24,0-26,0

Таблица 2.4

Пределы прочности, МПа

Марка портланд-цемента	При изгибе		При сжатии	
	в возрасте 28 суток	после пропаривания в возрасте 1 суток	в возрасте 28 суток	после пропаривания в возрасте 1 суток
ПЦ 500-Д-0	8,1-8,4	5,0-5,8	51,0-54,5	33,5-37,5

Применяемый для изготовления образцов портландцемент марки ПЦ 500-Д0 соответствует требованиям ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» и ГОСТ 30515-2013 «Цементы. Общие технические условия» (Приложение 4).

Вода. Вода, использованная для приготовления исследуемых образцов из цементного камня, соответствует требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия» (Приложение 4), в ней не содержится пленок от нефтепродуктов, жиров или масел. Водородный показатель воды – рН = 5,5. Сведения о количестве содержащихся примесей в воде, используемой для приготовления исследуемых образцов из цементного

камня, приведены в таблице 2.5. В используемой воде не содержится примесей в количествах, которые нарушали бы сроки схватывания и твердения цементного камня, снижали бы его морозостойкость и прочность.

Таблица 2.5

Содержание примесей в воде для приготовления бетона

Содержание примесей, мг/л, не более			
Растворимых солей	Анионов SO_4^{2-}	Анионов Cl^-	Взвешенных частиц
10000	2700	3500	300

В качестве растворителя для приготовления растворов, применяемых при проведении лабораторных испытаний коррозионной стойкости цементного камня, используется дистиллированная вода, которая соответствует требованиям ГОСТ 6709-72 «Вода дистиллированная. Технические условия» (Приложение 4). Сведения о составе и количестве примесей, которые содержатся в используемой дистиллированной воде, приведены в таблице 2.6.

Водородный показатель воды – $pH = 5,4-6,6$. Удельная электропроводность воды при $20\text{ }^\circ\text{C}$ составляет не более $5 \cdot 10^{-4}$ См/м.

Таблица 2.6

Содержание примесей в дистиллированной воде

Содержание примесей, мг/л, не более												
Сухой остаток после выпаривания	Сухой остаток после прокаливании	Аммиак и соли аммония	Нитраты	Хлориды	Сульфаты	Zn	Al	Fe	Ca	Cu	Pb	Вещества, окисляемые $KMnO_4$
5	1	0,02	0,20	0,02	0,50	0,20	0,05	0,05	0,80	0,02	0,05	0,08

Наполнитель и добавки. Для приготовления бетона в качестве наполнителя применялся щебень гравийный фракции 5-20 мм, полученный на Хромцовском карьере (Ивановская обл., Фурмановский район, п. Хромцово (Приложение 6)). В качестве гидрофобизирующей добавки использован стеарат кальция марки «х.ч.».

Электролиты. Для приготовления растворов $MgCl_2$ использовали реактивы марки «х.ч.» и дистиллированную воду. Концентрацию растворов $MgCl_2$ приняли в соответствии с ГОСТ 27677-88 «Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний» (Приложение 4) по таблице 3 приложения 2 как допускаемую для агрессивных сред концентрацию (таблица 2.7).

Таблица 2.7

Основные характеристики растворов $MgCl_2$

Концентрация растворенного вещества, г/л	pH	Плотность, кг/м ³
6	6	1002,2
7,5	5,9	1004,5
9	5,8	1006,2
11,5	5,7	1008,1
14	5,5	1009,8
16,5	5,4	1011,3
18	5,3	1012,7
19,5	5,1	1013,1
21	5	1014,4

Для приготовления смеси растворов $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ и NaOH с $\text{pH} = 13$ использовали реактивы марки «х.ч.» и дистиллированную воду.

Арматура. Исследования проводились на образцах из стеклокомпозитной арматуры, предоставленной ООО «НПО «Звезда», (г. Иваново (Приложение 7)). Арматура и навивка изготовлены из стеклоровинга и пропитаны эпоксидной смолой.

2.2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДИК

Для изучения свойств, структуры и состава исследуемых в работе материалов (твердой и жидкой фазы) до и после воздействия жидких агрессивных сред проведены экспериментальные исследования с применением методов химического и физико-химического анализа: количественный анализ катионов кальция в жидкой среде методом комплексонометрического титрования; измерение водородного показателя pH среды электрометрическим методом; методики определения плотности, водопоглощения и пористости бетона; рентгеноструктурный анализ структурно-фазового состава бетонных образцов; определение прочности бетона; определение предела прочности стеклокомпозитной арматуры на растяжение, определение прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном.

2.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ

Метод испытаний на коррозионную стойкость цементного камня в жидких агрессивных средах соответствует ГОСТ 27677-88 «Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний» (Приложение 4). Сущность метода состоит в сравнении значений показателей, которые характеризуют коррозионную стойкость исследуемых образцов цементного камня, помещенных в жидкие

агрессивные среды, со значениями показателей контрольных образцов цементного камня, не подвергавшихся воздействию жидких агрессивных сред [158].

Испытания проводились на «Приборе для исследования процессов коррозии строительных материалов» (патент РФ на полезную модель № 71164), разработанном в рамках научной школы академика РААСН С.В. Федосова [159]. Достижение технического результата обуславливается тем, что в используемом приборе для исследования коррозионных процессов строительных материалов, состоящем из сосуда для жидкости, элемента крепления исследуемого образца, запорного устройства, в объеме сосуда размещен элемент крепления образца, который присоединен к его крышке (рис. 2.1) [148, 149].

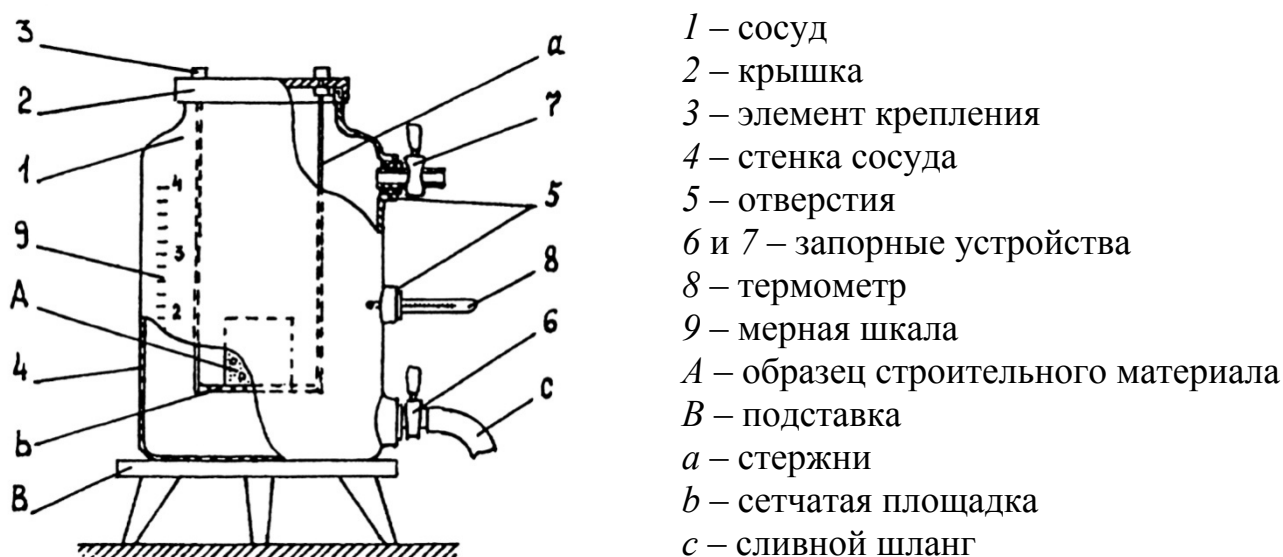


Рис. 2.1. Прибор для исследования процессов коррозии строительных материалов

Сущность проведения исследования коррозионных процессов строительных материалов на представленном приборе заключается в следующем [158, 160]. Подготавливают сосуд 1, устанавливают в отверстия 5 запорные устройства 6 и 7 и термометр 8. Затем в сосуд заливают, используя мерную шкалу 9, исследуемую среду, например, воду, в необходимом количестве. На сетчатую площадку *b* элемента

крепления 3, присоединенную с помощью стержней *a* к крышке 2, укладывают образец исследуемого строительного материала *A*, например, бетонный куб. После чего крышку устанавливают (навинчивают) на сосуд, при этом по мерной шкале отмечают объем жидкости с учетом объема образца.

Сосуд с образцом устанавливают на опорную поверхность подставки *B*. Крупная сетка опорной поверхности обеспечивает доступ воздуха к стенке сосуда 4. Температуру жидкости в сосуде контролируют термометром 8. После выдерживания образца в жидкости в течение установленного экспериментом времени жидкость из сосуда (в нужном количестве) сливают по шлангу *c* в емкость (не показана) для последующего титрования. Затем снимают крышку и извлекают образец.

Исследование коррозионной стойкости проводилось на образцах-цилиндрах с диаметром 50 мм и высотой 5 мм, изготовленных из портландцемента марки ПЦ 500-Д0 с водоцементным отношением В/Ц = 0,3.

Образцы изготавливались из растворов нормальной густоты. После 28-суточного предварительного твердения при нормальных условиях их погружают в растворы различной степени агрессивности.

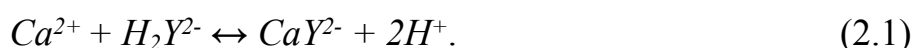
Размеры образцов и условия их твердения (температура 20 ± 2 °С и относительная влажность воздуха 50-70 %) соответствуют ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний» (Приложение 4).

Образцы-кубы из цементного камня с длиной стороны 3 см помещали на 150 суток в емкости (рис. 2.1) объемом 3000 см³, наполненные растворами MgCl₂ разной концентрации и дистиллированной водой.

2.2.2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ИОНОВ КАЛЬЦИЯ В ЖИДКОЙ СРЕДЕ ПО МЕТОДУ КОМПЛЕКСОМЕТРИИ

Комплексонометрическое определение катионов кальция основано на прямом титровании исследуемого раствора стандартным раствором комплексона III при добавлении индикатора мурексида или кислотного хромоген темно-синего [161]. Индикаторы образуют комплексное соединение с ионами кальция, имеющее красный цвет. При проведении титрования исследуемого раствора комплексом III в точке эквивалентности происходит переход красной окраски в окраску, характерную для свободного индикатора.

В результате проведения титрования растворов солей кальция стандартным раствором комплексона III происходит образование кислоты и комплекса CaY^{2-} по реакции [161]:



Комплекс CaY^{2-} , образующийся в результате реакции, является относительно неустойчивым:

$$K_{\text{пр}} = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{Y}^{4-}]}{[\text{CaY}^{2-}]} = 3 \cdot 10^{-11}. \quad (2.2)$$

Поэтому образование свободной кислоты при протекании реакции или добавление ее в исследуемый раствор перед проведением титрования сдвигает равновесие указанной реакции влево, то есть в сторону разрушения комплекса CaY^{2-} .

Этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) является четырехосновной слабой органической кислотой, поэтому водородный показатель pH растворов ее комплекса с ионами Ca^{2+} должен быть не меньше значения 10,3. Если значение pH будет меньше, то Y^{4-} с ионами H^+ будет образовывать соответствующие гидроанионы: HY^{3-} , H_2Y^{2-} , H_3Y^- и кислоту H_4Y . Комплекс CaY^{2-} при этом разрушается или совсем не образуется.

Следовательно, устойчивость внутрикомплексной соли, которая образуется при взаимодействии катионов кальция и комплексона III, зависит от значения pH раствора [161].

Поэтому титрование растворов солей кальция стандартным раствором ЭДТА следует проводить с добавлением буферного раствора для поддержания сильнощелочной среды с $\text{pH} = 12$ с целью обеспечения оптимального течения реакции образования комплекса CaY^{2-} . При соблюдении данного условия происходит полная нейтрализация свободной кислоты, которая образуется в процессе титрования, и наблюдается максимальный скачок на кривой титрования [161].

Метод определения. В коническую колбу пипеткой отбирают 25 мл анализируемого раствора, добавляют 50 мл дистиллированной воды, 25 мл 20 %-ого раствора гидроксида натрия, 2-3 капли индикатора и титруют при непрерывном перемешивании 0,1 н раствором комплексона III до перехода красной окраски в фиолетовую или синюю.

Расчет содержания определяемого вещества в граммах:

$$g_A = \frac{Э_A N_B V_B}{1000}, \quad (2.3)$$

где: g_A – общее содержание определяемого вещества в исследуемом продукте, г; $Э_A$ – грамм-эквивалент определяемого вещества; N_B – нормальность стандартного раствора реактива, г-экв/л; V_B – объем стандартного раствора реактива, мл.

2.2.3. ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ pH

Величина pH раствора оказывает существенное влияние на многие химические реакции [162].

Для измерения pH использован электродметрический метод с применением стеклянного электрода.

Ход определения: в две мерные колбы отбирают по 100 мл анализируемого раствора. Собирают гальванический элемент, электроды которого подсоединяют к рН-метру (ЭВ-74) [163]. Его работа основана на компенсационном принципе. На электродах, погруженных в анализируемый раствор, в зависимости от концентрации ионов водорода возникает различная по величине электродвижущая сила, которая компенсируется противоположно направленной ЭДС и измеряется. Пределы измерения величины рН на приборе – от 0 до 14. Включают в сеть переменного тока рН-метр и оставляют его на 5-10 мин для стабилизации температурного режима, после чего измеряют рН каждого анализируемого раствора, пользуясь прилагаемой к прибору инструкцией по эксплуатации.

2.2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ И ПОРИСТОСТИ БЕТОНА

Методы определения плотности, водопоглощения и пористости бетона соответствуют ГОСТ 12730.0-78 «Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости» (Приложение 4) и европейским [164] и российским [165, 166] методам испытания бетона. Плотность бетона определяется в соответствии с ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности» (Приложение 4).

Плотность бетона ρ определяется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V} \cdot 1000, \quad (2.4)$$

где: m – масса бетонного образца, г; V – объем бетонного образца, см³.

Объем бетонных образцов вычисляется по их геометрическим размерам. Размеры исследуемых образцов измеряются линейкой с погрешностью не более 1 мм. Масса бетонных образцов определяется взвешиванием с погрешностью до 1 г.

Истинная плотность бетона устанавливается путем измерения массы единицы объема измельченного и высушенного исследуемого образца.

Для определения истинной плотности бетона берутся две навески по 10 г каждая, всыпают их в два чистых высушенных и предварительно взвешенных пикнометра, после чего каждый пикнометр с песком взвешивается. Затем в оба пикнометра с навесками заливается на 2/3 их объема дистиллированная вода, содержимое перемешивается. Затем пикнометр освобождается от содержимого, промывается, наполняется до метки дистиллированной водой и снова взвешивается.

Истинная плотность бетона ρ_w вычисляется по формуле:

$$\rho_w = \frac{m \rho_e}{m + m_1 - m_2}, \quad (2.5)$$

где: m – масса навески, кг; ρ_e – плотность воды, кг/м³; m_1 – масса пикнометра с дистиллированной водой, кг; m_2 – масса пикнометра с навеской и дистиллированной водой, кг.

Водопоглощение бетона определяется в соответствии с ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Методы определения водопоглощения» (Приложение 4). Водопоглощение определяют испытанием серии образцов с размерами 10x10x10 см.

Водопоглощение бетона отдельного образца W_m по массе в процентах с погрешностью до 0,1 % определяют по формуле:

$$W_x = \frac{m_c - m_e}{m_c} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

где: m_c – масса высушенного бетонного образца, г; m_e – масса водонасыщенного бетонного образца, г.

Пористость бетона определяется в соответствии с ГОСТ 12730.4-78 «Бетоны. Методы определения показателей пористости» (Приложение 4).

Полный объем пор бетона Π_n вычисляют в процентах и определяют с погрешностью до 0,1 % по формуле:

$$\Pi_n = \left(\frac{\rho - \rho_w}{\rho} \right) 100 \% , \quad (2.7)$$

где: ρ_w – истинная плотность бетона, кг/м³; ρ – плотность бетона, определенная по ГОСТ 12730.1-78, кг/м³.

2.2.5. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРКИ БЕТОНА ПО ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ

Марку бетона по водонепроницаемости определяли согласно методике, изложенной в патенте РФ № 2187804 [167] и МИ 2625-2000 «РЕКОМЕНДАЦИЯ ГСИ. Материалы цементные. Методика выполнения измерений водонепроницаемости ускоренным методом». После высушивания при температуре 105±5 °С до постоянной массы исследуемые бетонные образцы раскалывали на две части по ГОСТ 10180-2012 (Приложение 4), после чего на боковые поверхности наносили гидроизоляцию парафином. Затем водонасыщали образцы через поверхность раскола за 1 и 5 минут соответственно, находили эквивалентное капиллярное давление в материале в зависимости от капиллярной пористости растворной части материала и объема поглощенной воды, и показатель степени кинетики водонасыщения, определяли объем капиллярных пор растворной части материала, а водонепроницаемость цементных материалов рассчитывали по формуле:

$$\lambda' = \left(\frac{P_i}{0,2} \right)^n \cdot \sqrt{1 + \frac{P_i}{P_K}} , \quad (2.8)$$

где: P_i – искомая водонепроницаемость, МПа, которую находят путем последовательной подстановки в формулу ее численных значений P_i , начиная с 0,2 МПа и увеличивая его с каждым шагом на 0,05 МПа до попадания расчетного значения параметра λ' в интервал, определяемый неравенством

$0,95\lambda < \lambda < 1,05\lambda$; P_K – эквивалентное капиллярное давление, возникающее при водонасыщении материалов, МПа; n – показатель степени кинетики водонасыщения материала, определяемый по формуле:

$$n = \frac{\lg \Delta \bar{m}_5 - \lg \Delta \bar{m}_1}{0,7}, \quad (2.9)$$

где: $\Delta \bar{m}_1, \Delta \bar{m}_5$ – средние арифметические значения разности масс образцов водонасыщенных и высушенных для 1 и 5 минут соответственно;

λ – критерий, определяемый по формуле:

$$\lambda = \frac{V_{Ki}}{(\tau')^n \Delta V_{K1}}, \quad (2.10)$$

где: V_{Ki} – объем капиллярных пор материала в испытываемом образце, см³; ΔV_{K1} – объем воды, поглощенной капиллярами материала за 1 мин, см³; τ' – относительное приведенное время, зависящее от размеров и формы испытываемых образцов (таблица 6 в МИ 2625-2000).

Объем воды ΔV_{K1} , поглощенной капиллярами за 1 минуту рассчитывали по формуле:

$$\Delta V_{K1} = \frac{\Delta \bar{m}_1}{\gamma_w} \cdot \left(1 - \frac{K_6 \cdot \Delta V' C}{W - \beta_1 П - \beta_2 Щ - K_3 \Delta V' C} \right), \quad (2.11)$$

где: W – объем воды затворения в 1 л уплотненной смеси материала, см³; $П, Щ$ – содержание по массе заполнителей в 1 л уплотненной смеси материала, соответственно мелкого и крупного, г; β_1, β_2 – водопоглощение заполнителей в долях от их массы за время перемешивания и уплотнения смеси соответственно мелкого и крупного, см³/г; K_3, K_6 – коэффициенты из таблицы 2 МИ 2625-2000; $\Delta V'$ – удельная текущая контракция применяемого цемента к моменту испытаний материала ($\Delta V' = 2486$ см³/г); C – содержание по массе цемента в 1 л уплотненной смеси, г.

Эквивалентное капиллярное давление P_K вычисляется по формуле:

$$P_K = \frac{A_1 \cdot \Pi_k^2}{M \cdot \Delta V_{K1}^2 \cdot f^2}, \quad (2.12)$$

где: A_1 – константа из таблицы 6 МИ 2625-2000; f – коэффициент, отражающий отношение объема бетона к объему его растворной части; M_1 – параметр,

интегрально отражающий особенности строения капилляров и эффект «перетекания», вычисляется по формулам:

- для бетона с крупным заполнителем: $M = 6 + 300\Pi_K^{3/2}$,

- для мелкозернистого бетона: $M = 12 + 540\Pi_K^{3/2}$.

Объем капиллярных пор в материале испытываемого бетонного образца определяется по формуле:

$$V_K = \frac{V \cdot \Pi_K}{f}, \quad (2.13)$$

где: V – объем испытываемого образца, см³.

Коэффициент f определяли по формуле:

$$f = \frac{1000\gamma_{\text{щ}}}{1000\gamma_{\text{щ}} - \text{Щ}}, \quad (2.14)$$

Капиллярная пористость растворной части определяется по формуле:

$$\Pi_K = \frac{W - \beta_1\Pi - \beta_2\text{Щ} - K_5\Delta V' C}{1000 - \frac{\text{Щ}}{\gamma_{\text{щ}}}}, \quad (2.15)$$

где: $\gamma_{\text{щ}}$ – истинная плотность крупного заполнителя, г/см³; K_5 – стехиометрическая константа из таблицы 2 МИ 2625-2000.

Испытанному бетону устанавливали марку по водонепроницаемости W , равную меньшему, ближайшему к P_i , значению W , приведенному в ГОСТ 12730.5-84 (Приложение 4).

2.2.6. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

Сущность качественного рентгенографического анализа сводится к сопоставлению экспериментально определенных значений межплоскостных расстояний, линий и их интенсивности с эталонными рентгенограммами [168, 169]. Идентификация фаз после получения рентгенограммы начинается с нахождения углов дифракции 2θ и соответствующих им межплоскостных расстояний, а также относительной интенсивности каждой линии. По найденному для

каждого пика значения угла θ при известной длине волны λ применяемого рентгеновского излучения определяются величины межплоскостного расстояния d по уравнению Вульфа – Бреггов:

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}. \quad (2.16)$$

Рентгенограммы снимались с измельченных и растертых образцов цементного камня, запрессованных в таблетки, при длине волны рентгеновского излучения $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$. Расшифровка рентгенограмм проводилась при использовании кристаллографической базы МИНКРИСТ [170].

2.2.7. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Прочность бетонных образцов определяется согласно ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам (Приложение 4). Испытания проводились на бетонных образцах-цилиндрах с диаметром 50 мм и высотой 5 мм.

Нагружение бетонных образцов проводилось непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до их разрушения. При этом время нагружения исследуемого образца до его разрушения было не менее 30 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку.

При испытании на сжатие бетонные образцы-цилиндры устанавливали на нижнюю опорную плиту пресса П-50 центрально относительно его продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту пресса, дополнительные стальные плиты или специальное центрирующее устройство.

После установки исследуемого образца на опорные плиты пресса (дополнительные стальные плиты) совмещали верхнюю плиту пресса с верхней опорной гранью образца (дополнительной стальной плитой)

так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Далее начинали нагружение.

Прочность испытанного бетонного образца с точностью до 0,1 МПа вычисляли по формуле:

$$R^{обп} = \frac{F}{A}, \quad (2.17)$$

где: F – разрушающая нагрузка, Н; A – площадь рабочего сечения бетонного образца, мм².

2.2.8. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ ОСЕВОМ РАСТЯЖЕНИИ

Определение предела прочности стеклокомпозитной арматуры при осевом растяжении проводили на разрывной машине Р-50 согласно ГОСТ 32492-2013 (Приложение 4).

Предел прочности при растяжении σ_b , определяли по формуле:

$$\sigma_b = \frac{P}{A}, \quad (2.18)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; A – площадь поперечного сечения арматурного стержня, мм².

Значение модуля упругости E_f рассчитывалось как отношение приращений нагрузок при растяжении в интервале от 0,2Р до 0,5Р и относительным удлинениям по формуле:

$$E_f = \frac{P_1 - P_2}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)A}, \quad (2.19)$$

где: P_1 – нагрузка, составляющая (50±2) % разрушающей нагрузки, Н; P_2 – нагрузка, составляющая (20±2) % разрушающей нагрузки, Н; ε_1 – относительное удлинение, соответствующее нагрузке P_1 ; ε_2 – относительное удлинение, соответствующее нагрузке P_2 .

Относительное удлинение исследуемого образца стеклокомпозитной арматуры после разрыва рассчитывали по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_{0к} - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (2.20)$$

где: $l_{0к}$ – конечная длина образца, м; l_0 – начальная длина образца, м.

2.2.9. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ СТЕКЛОВОЛОКОННОЙ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ

Для исследования прочности анкеровки стеклокомпозитной арматуры диаметром 10 мм было разработано приспособление (патент на полезную модель РФ № 149570 (Приложение 8)), состоящее из двух частей: удерживающего устройства (рис. 2.2-а) и гильзы (рис. 2.2-б и 2.3) (патент на полезную модель РФ № 159663 (Приложение 9), патент на полезную модель РФ № 159684 (Приложение 10)).

Удерживающее устройство (1) состоит из двух одинаковых частей. Каждая часть состоит из двух уголков 75×5, скрепленных пластиной толщиной 10 мм. В центре одной пластины имеется отверстие для болта (3), за который будет удерживаться конструкция в зажимах разрывной машины, а в центре второй пластины отверстие служит для подачи арматурного прутка (2) с гильзой (4) к зажимам разрывной машины. Между собой две части крепятся при помощи четырех болтов М12 через фиксирующие проставки (трубки), которые удерживают конструкцию в одном положении. Болт (3) не должен фиксироваться жестко к пластине при помощи гайки с обратной стороны, чтобы в процессе испытания он смог находиться на продольной оси испытываемого стержня. Такое подвижное закрепление избавит от изгибов самого приспособления, которое может возникнуть от несоосных отверстий, недостаточно точно выполненных соединений или непараллельности граней бетонного кубика.

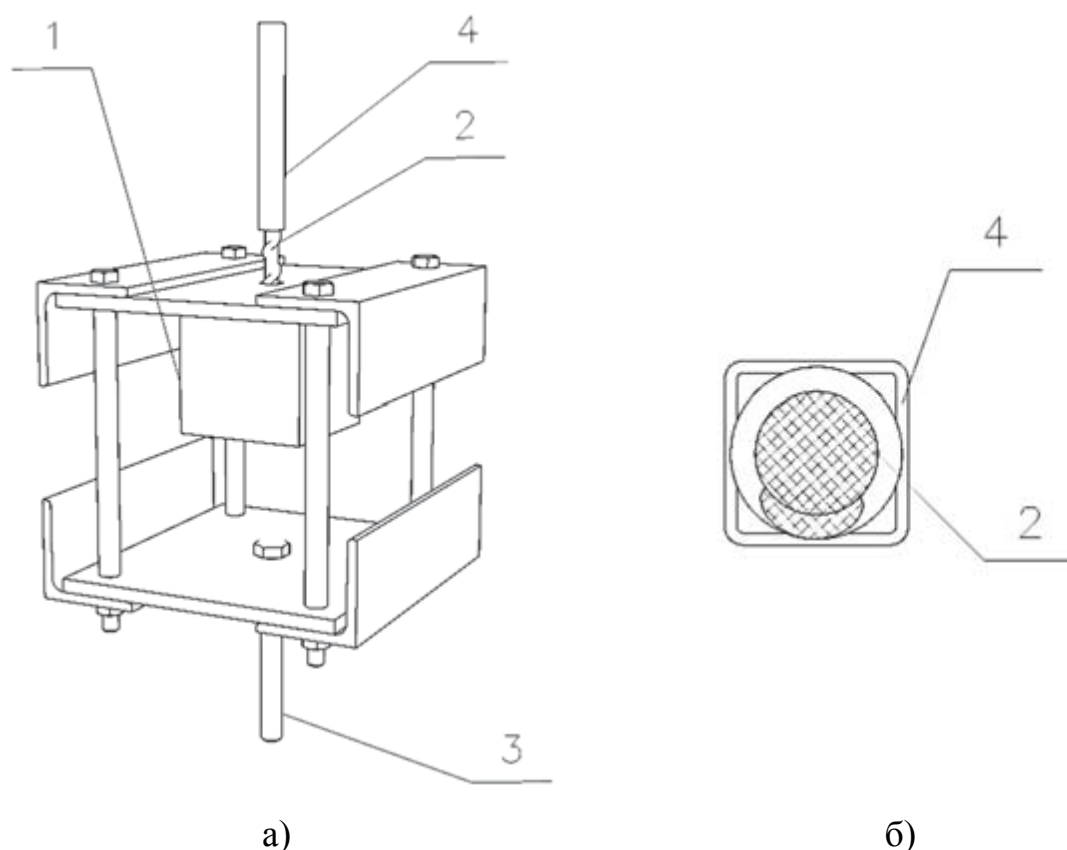


Рис. 2.2. Приспособление для испытаний на вырывание арматурного стержня из бетона: а) общий вид приспособления; б) поперечное сечение гильзы

Гильза (4), показанная на рис. 2.2-б и 2.3, необходима для передачи растягивающего усилия на арматуру за счет приклеивания и передает лишь сдвиговые усилия на поверхность арматуры, которые впоследствии равномерно перераспределяются в продольные усилия в силовом стержне арматуры стеклокомпозитной. Также она не позволяет расколоть прутки зажимами разрывной машины в поперечном направлении за счет жесткости стальной трубки. Такая конструкция удерживающего устройства обеспечивает равномерность передаваемых усилий на исследуемый образец.

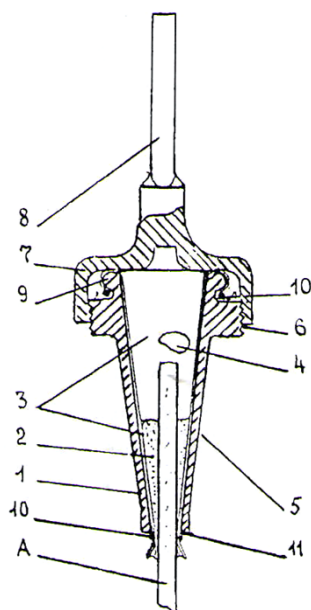


Рис. 2.3. Гильза для удерживания прутка стеклокомпозитной арматуры, вырываемого из бетона: 1 – трубка (гильза) в форме усеченного конуса (нижняя часть); 2 – сменная вставка; 3 – граница между прокладкой и клеевой массой; 4 – наполнитель; 5 – наружная поверхность гильзы; 6 – резьбовая часть; 7 – гильза (верхняя часть); 8 – пруток для зажима в цапгах разрывной машины; 9 – элемент для устройства загиба и прижатия прокладки; 10 – прокладка между гильзой и клеевой массой; 11 – нижняя часть гильзы для выпуска испытываемого прутка; А – испытываемый пруток

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ КОРРОЗИИ ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ В ЖИДКИХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ АГРЕССИВНОСТИ, НА ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОРРОЗИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ЖИДКИХ СРЕДАХ

Поскольку долговечность изделий из бетона, армированного стеклокомпозитной арматурой, определяется скоростью коррозионных процессов, протекающих в бетоне, на начальном этапе проведены исследования коррозии цементного камня в жидких средах.

Изначально бетон, как и большинство строительных материалов, гидрофилен. Гидрофильность бетона является первоосновой всех деструктивных процессов, протекающих в нем [171].

Понизив водопроницаемость бетона, можно значительно увеличить его долговечность [137].

По классификации Н.А. Мощанского [75], в зависимости от происхождения поры и другие неплотности в цементном камне и бетоне можно разделить на следующие виды: гелевые поры, размер которых колеблется в пределах от 25 до 1000 Å (0,0025-0,1 мкм), в основном являются замкнутыми; капиллярные поры, образующиеся в результате испарения и миграции влаги, размер которых колеблется в довольно широких пределах – от 0,1 мкм и менее (микрокапилляры) до 10-50 мкм (макрокапилляры), в основном являются открытыми и сообщаются между собой; открытые трещины и микротрещины температурно-усадочного происхождения, толщина которых может достигать нескольких мм; воздушные поры, образовавшиеся в результате преднамеренного вовлечения воздуха в бетонную смесь при приготовлении ячеистых бетонов, применения воздухововлекающих добавок при приготовлении и укладке бетонной смеси.

При выдерживании в воде гелевые поры заполняются жидкостью полностью, а капиллярные – почти полностью, так как в них вовлечено некоторое количество воздуха. Воздушные же поры остаются полностью заполненными воздухом [172].

Как известно [141], степень водопоглощения бетона оценивается количеством воды в %, удерживаемым бетонным образцом и отнесенным к объему или массе образца. При насыщении бетона водой существенно изменяются его физико-механические и структурные свойства: увеличиваются линейные размеры, плотность и теплопроводность, происходят изменения в структуре материала.

В рамках научной школы академика Федосова С.В. проводятся исследования коррозии I и II видов цементных бетонов в жидких средах [158, 159, 173-185].

Исследования коррозионной стойкости проводилось на образцах-кубах с гранью 3 см, изготовленных из портландцемента марки ПЦ 500-Д0, с водоцементным отношением В/Ц = 0,3 [38]. Образцы погружались в 2 %-ый водный раствор $MgCl_2$ объемом 1000 см³, откуда с периодичностью 14 суток отбирались пробы для титрования объемом 10 см³. Концентрация раствора корректировалась во времени. На момент погружения возраст образцов достиг 28 суток.

Концентрацию агрессивной среды приняли в соответствии с ГОСТ 27677-88 «Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний» по таблице 3 приложения 2, как допускаемую концентрацию. Контроль содержания катионов кальция в различных жидких агрессивных средах проводился методом объемного титрования исследуемых растворов, результаты которого представлены на рис. 3.1.

После 70 суток испытаний значения концентраций катионов кальция в растворах выходят на постоянные значения и меняются не значительно. Равновесная концентрация катионов кальция достигается после 150 суток

пребывания исследуемых образцов в коррозионной среде [179, 183]. После достижения равновесия изменения концентрации катионов кальция в растворах не происходит вследствие затрудненности проникновения коррозионной среды вглубь цементного камня.

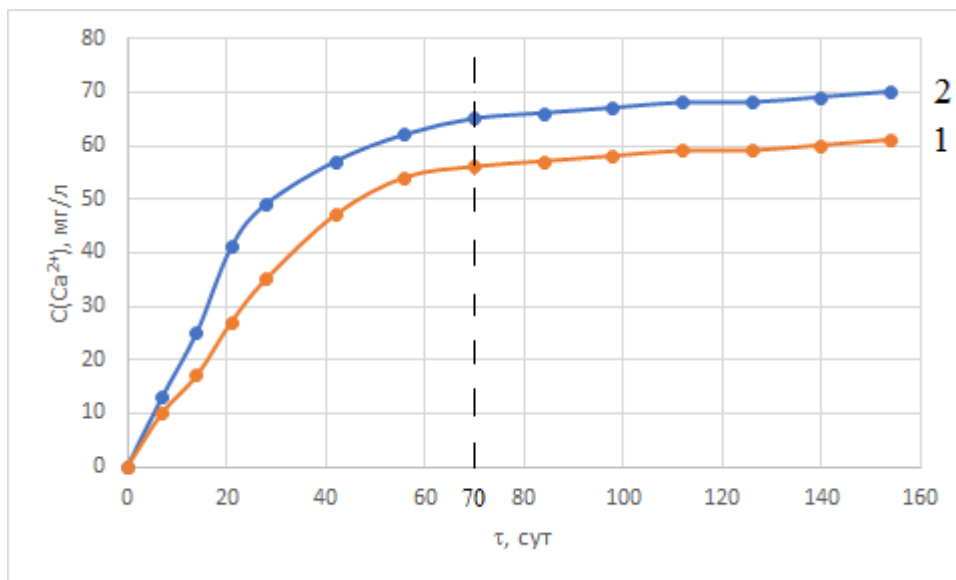


Рис. 3.1. Кинетические кривые концентрации катионов кальция в воде (1) и 2 %-ом растворе MgCl_2 (2)

В таблице 3.1 представлены результаты испытаний на прочность образцов из портландцемента марки ПЦ 500-Д0, подвергавшихся воздействию различных жидких сред в течение 150 суток [39, 186-188]. Очевидно, что для образцов без специальных добавок 2 %-ый раствор MgCl_2 является сильноагрессивной средой, он оказывает более сильное влияние на снижение прочностных характеристик образцов.

Таблица 3.1

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

Поскольку между структурой и механикой разрушения цементного камня существует тесная зависимость, важным аспектом исследований является изучение структурно-фазовых изменений, происходящих в цементном камне под воздействием жидких агрессивных сред [62, 189].

Рентгенографический анализ позволяет качественно определить структурно-фазовый состав цементного камня. Каждое кристаллическое вещество характеризуется своим набором определенных линий на рентгенограмме. Минералогический состав цемента представлен следующими клинкерными минералами: алитом C_3S ($3CaO \cdot SiO_2$); белитом C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$); трехкальциевым алюминатом C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$); браунмиллеритом или четырехкальциевым алюмоферритом C_4AF ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$). Гипсовый камень в цементе представлен минералом двуводным сульфатом кальция $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ [189, 190].

Многочисленными исследованиями показано, что главными носителями механической прочности цементного камня являются продукты гидратации минералов C_3S и C_2S , то есть гидросиликаты кальция [191, 192].

На рис. 3.2 приведены рентгенограммы образца из цементного камня, не подвергавшегося воздействию агрессивной среды.

Ярко выраженными на рентгенограмме являются линии алита C_3S ($d = 3,05464; 2,72956; 1,92669$ и $1,523 \text{ \AA}$), белита C_2S ($d = 3,39$ и $2,748 \text{ \AA}$) и браунмиллерита ($d = 3,27879; 2,64102$ и $2,52309 \text{ \AA}$).

На рис. 3.3 приведены рентгенограммы образцов из цементного камня после пребывания в 2 %-ом водном растворе $MgCl_2$ и воде. На рентгенограммах видно, что после нахождения цементного камня в агрессивной среде наблюдается изменение интенсивности некоторых линий, а также появление новых [187].

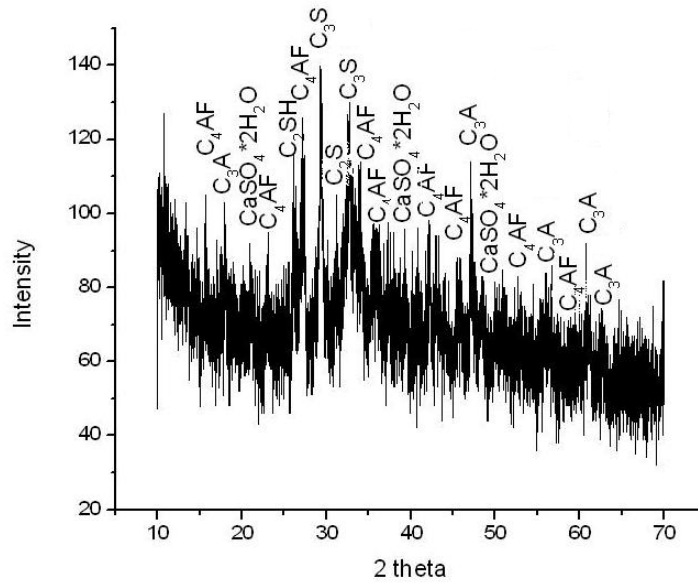
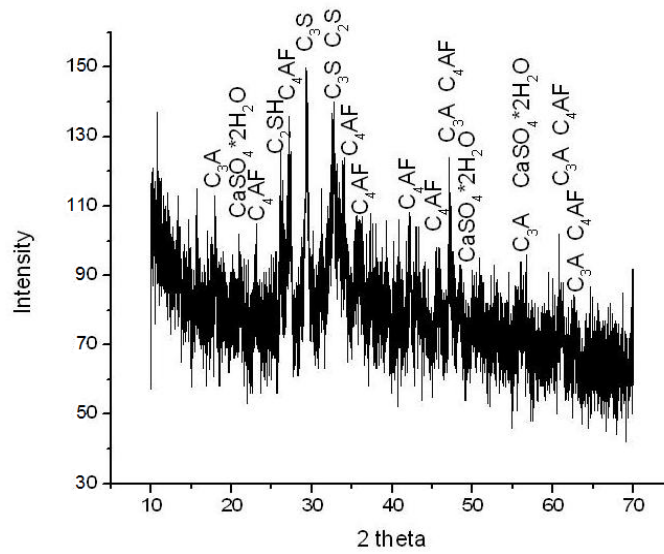
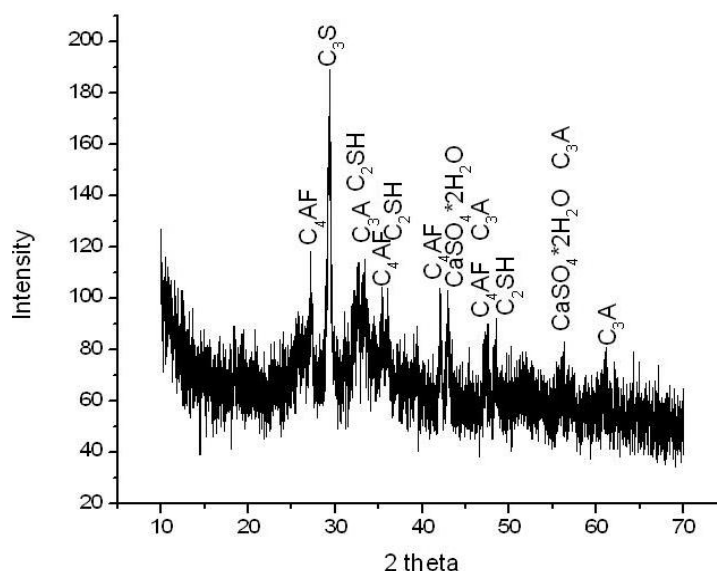


Рис. 3.2. Рентгенограммы образца из цементного камня, не подвергавшегося воздействию агрессивной среды



a)



б)

Рис. 3.3. Рентгенограммы образцов из цементного камня, подвергшихся воздействию сред разной агрессивности: а) вода; б) 2 %-ый раствор $MgCl_2$

Снижение интенсивности и исчезновение с рентгенограмм линий, соответствующих продукту гидратации алита и белита – гидросиликату кальция C_2SH , подтверждает данные прочностных испытаний цементных образцов после воздействия агрессивных сред (таблица 3.1) [39, 188]. С увеличением агрессивности среды понижается интенсивность линий, соответствующих алиту C_3S и белиту C_2S , вместо них появляются линии, соответствующие гидросиликату кальция C_2SH . Также снижается интенсивность линий трехкальциевого алюмината C_3A и гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Среднее уменьшение интенсивности линий алита C_3S на рентгенограммах составляет 20 %, белита C_2S – 12 %, трехкальциевого алюмината C_3A – 16 %, четырехкальциевого алюмоферрита C_4AF – 20 %, гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ – 10 % [43, 187].

Данные рентгенографического анализа коррелируют с данными определения прочности испытуемых образцов (таблица 3.1) и доказывают, что изменения в структурно-фазовом составе цементного камня приводят к снижению его прочности, что должно отражаться на прочности сцепления бетона со стеклокомпозитной арматурой.

3.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОРРОЗИИ ГИДРОФОБИЗИРОВАННОГО ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ЖИДКИХ СРЕДАХ

Для уменьшения водопоглощения бетона прибегают к его гидрофобизации. Гидрофобизирующие добавки придают стенкам пор и капилляров в бетоне гидрофобные свойства. Наиболее известными химическими добавками среди водоотталкивающих материалов являются соли жирных кислот, например, стеараты и олеаты щелочных и щелочно-земельных металлов. При использовании гидрофобизирующих добавок в результате реакции мыла с «свободным гидроксидом кальция» образуется нерастворимый стеарат кальция, который закрывает поверхность пор бетона [155].

Благодаря снижению водопоглощения уменьшается количество поступающей внутрь бетона жидкой агрессивной среды, а, значит, понижается степень коррозионного разрушения его структурных составляющих. Коррозионная стойкость цементного камня с гидрофобизирующими добавками требует проведения дополнительных исследований для определения закономерностей массопереноса. Исследования проводились на образцах-таблетках диаметром 50 мм и толщиной 5 мм (рис. 3.4), изготовленных из портландцемента марки ПЦ 500-Д0, с водоцементным соотношением В/Ц = 0,3. Марка цемента по водонепроницаемости W4, W6, W8 регулировалась гидрофобизирующей добавкой стеаратом кальция и перед началом эксперимента определялась согласно методике, описанной в п. 2.2.5. Стеарат кальция вводился на стадии производства испытываемых образцов для обеспечения объемной гидрофобизации. Было установлено, что марке бетона W4 соответствует концентрация гидрофобизатора в количестве 0,3 % по массе бетона, марке бетона W6 – 0,5 %, марке бетона W8 – 0,7 %.

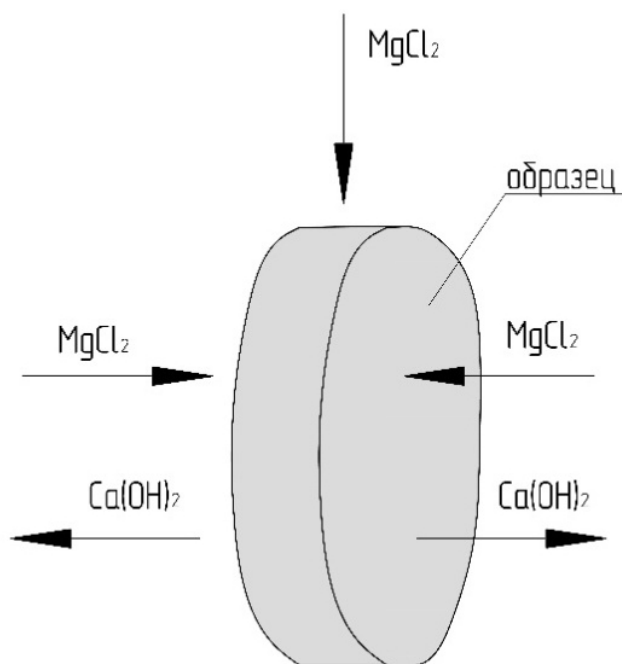


Рис. 3.4. Схема цементного образца для проведения испытаний на коррозионную стойкость

Плотность ρ_w , истинная плотность ρ , водопоглощение W_m и полный объем пор P_n исследуемых цементных образцов определяли по формулам (2.4)-(2.7), приведенным в п. 2.2.4. Данные приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Характеристики цементного камня

Марка бетона по водонепроницаемости	Начальная концентрация Ca(OH)_2 , C_0 , кг СаО/кг бет	Плотность ρ_w , кг/м ³	Истинная плотность ρ , кг/м ³	Водопоглощение W_m , %	Полный объем пор P_n , %
W4	$3,62 \cdot 10^{-4}$	2220,1	2631,6	5,0	15,6
W6		2260,7	2637,2	4,5	14,3
W8		2332,1	2644,4	4,2	11,8

Исследования коррозионной стойкости цементного камня проводились на установке для исследования массообменных процессов, описанной в патенте РФ № 71164. Образцы погружались в водные растворы MgCl_2 объемом 3000 см³, разных концентраций, приведенных

в таблице 2.7, откуда с периодичностью 7 суток отбирались пробы для титрования объемом 10 см³. Концентрация раствора корректировалась во времени. На момент погружения возраст цементных образцов достиг 28 суток.

Концентрации агрессивной среды приняли в соответствии с ГОСТ 27677-88 «Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний» (Приложение 4) по таблице 3 приложения 2, как допускаемые для агрессивных сред концентрации, по разной степени агрессивности жидкой неорганической среды (таблица 3.3).

В ходе проведения опыта установлено, что состояние, близкое к равновесной концентрации катионов кальция в растворе, достигается после 14 суток пребывания исследуемого образца в коррозионной среде (рис. 3.5-3.7) [193, 194], тогда как для образцов без гидрофобизирующих добавок состояние равновесия наступает после 50 суток проведения испытания [145].

Таблица 3.3

Степень агрессивного воздействия MgCl₂ на портландцемент

Марка бетона по водонепроницаемости	Содержание MgCl ₂ , г/л		
	Слабоагрессивная среда	Среднеагрессивная среда	Сильноагрессивная среда
W4	6	9	>14
W6	9	14	>18
W8	14	18	>21

После достижения равновесия изменения концентрации катионов кальция в растворе не происходит вследствие затрудненности проникновения коррозионной среды вглубь бетона.

Проведены исследования коррозии цементного камня с гидрофобизирующими добавками в растворах на границе агрессивности сред при концентрации MgCl₂: 7,5, 11,5, 16,5 и 19,5 г/л (рис. 3.5-3.7).

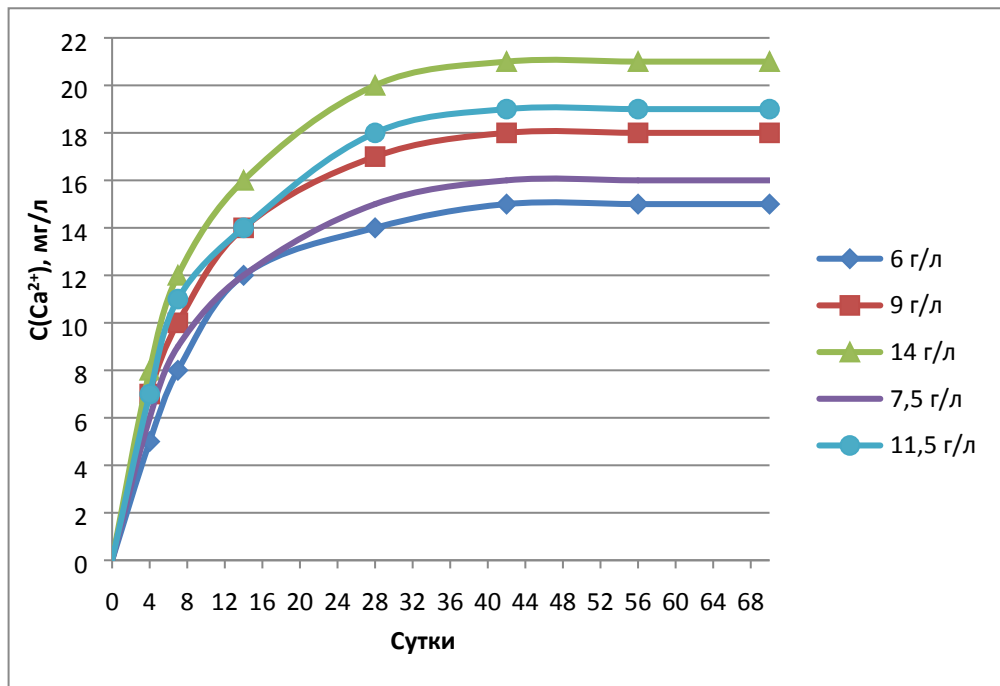


Рис. 3.5. Кинетические кривые концентрации катионов кальция в растворе $MgCl_2$ разной концентрации для образцов из цемента марки по водонепроницаемости W4

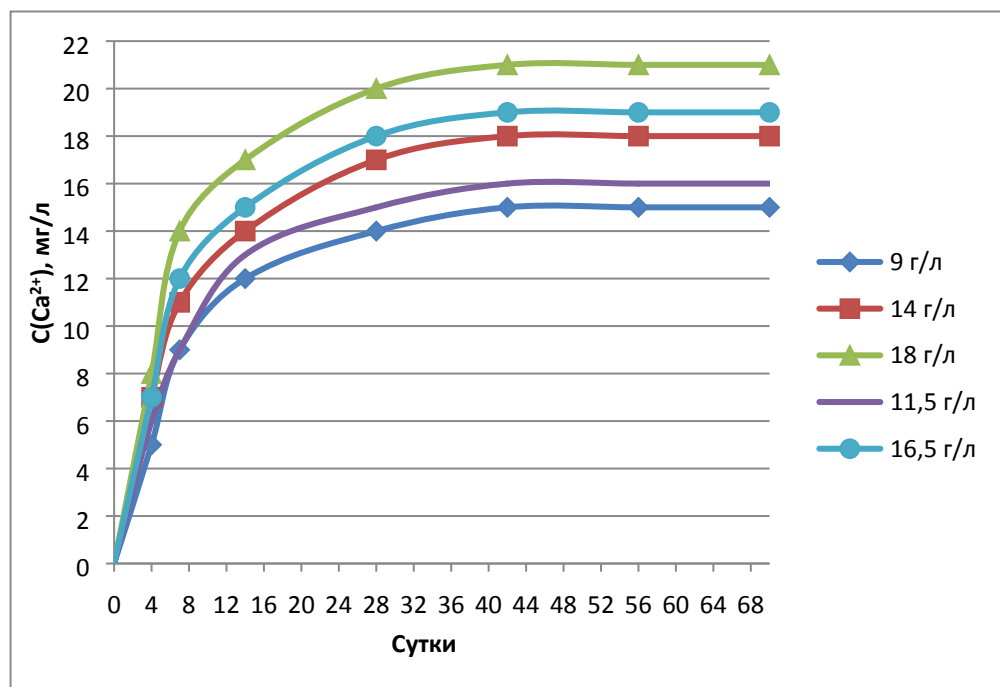


Рис. 3.6. Кинетические кривые концентрации катионов кальция в растворе $MgCl_2$ разной концентрации для образцов из цемента марки по водонепроницаемости W6

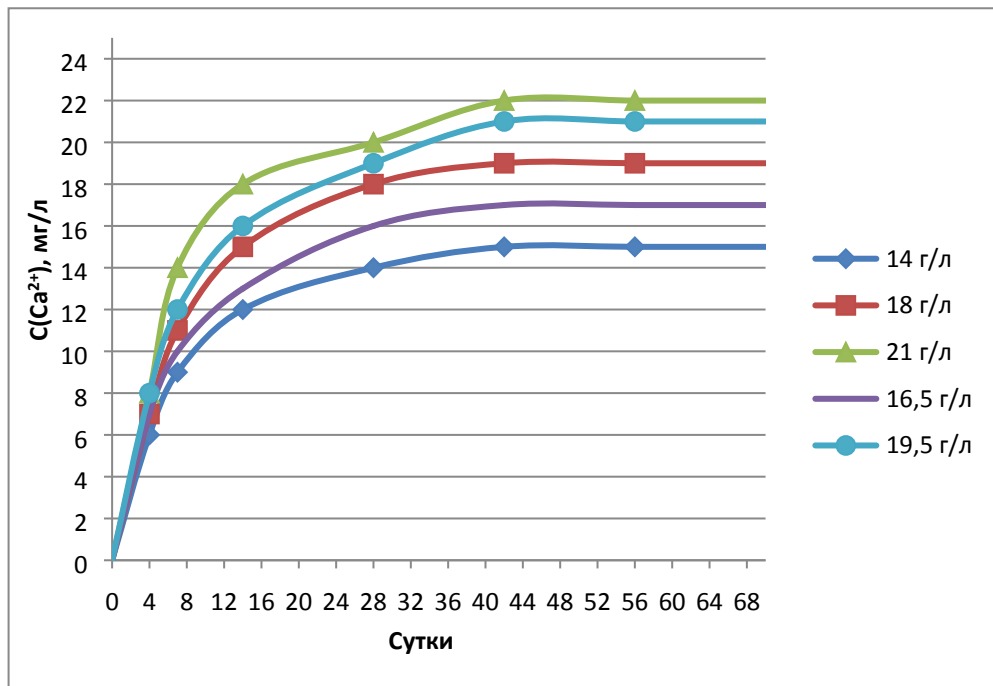


Рис. 3.7. Кинетические кривые концентрации катионов кальция в растворе $MgCl_2$ разной концентрации для образцов из цемента марки по водонепроницаемости W8

Из рис. 3.5. следует, что кинетическая кривая концентрации катионов кальция для образцов из цемента марки по водонепроницаемости W4 в растворе $MgCl_2$ с концентрацией 7,5 г/л располагается ближе к кривой, соответствующей слабоагрессивной среде ($C(MgCl_2) = 6$ г/л), а в растворе $MgCl_2$ с концентрацией 11,5 г/л располагается ближе к кривой, соответствующей среднеагрессивной среде ($C(MgCl_2) = 9$ г/л).

Из рис. 3.6. следует, что кинетическая кривая концентрации катионов кальция для образцов из цемента марки по водонепроницаемости W6 в растворе $MgCl_2$ с концентрацией 11,5 г/л располагается ближе к кривой, соответствующей слабоагрессивной среде ($C(MgCl_2) = 9$ г/л), а в растворе $MgCl_2$ с концентрацией 16,5 г/л располагается ближе к кривой, соответствующей среднеагрессивной среде ($C(MgCl_2) = 14$ г/л).

Из рис. 3.7. следует, что кинетическая кривая концентрации катионов кальция для образцов из цемента марки по водонепроницаемости W8 в растворе $MgCl_2$ с концентрацией 16,5 г/л располагается ближе к кривой,

соответствующей слабоагрессивной среде ($C(\text{MgCl}_2) = 14$ г/л), а в растворе MgCl_2 с концентрацией 19,5 г/л располагается ближе к кривой, соответствующей среднеагрессивной среде ($C(\text{MgCl}_2) = 18$ г/л).

Результаты исследований подтверждают, что рекомендации, представленные в ГОСТ 27677-88, имеют условный характер. Поэтому для их использования на практике необходимо проводить предварительные испытания для конкретных марок бетона, чтобы определить диапазон концентраций в зависимости от степени агрессивности жидкой среды.

Из рис. 3.5-3.7 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 оптимальное 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 из портландцемента марки ПЦ 500-Д0 в жидких средах на начальном этапе происходит увеличение их прочности, что может быть объяснено наполнением пор и пустот в бетоне новообразующимися продуктами коррозии и изменением структуры цементного камня [75, 140]. 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 [195, 196].

Другими авторами установлено [155, 189, 190, 192], что при введении в качестве гидрофобизирующих добавок стеаратов щелочных и щелочно-земельных металлов в начальные сроки отверждения прочность бетона на осевое сжатие понижается (в 2-5 раз) по сравнению с негидрофобизированным бетоном. В дальнейшем, при отверждении прочность бетонов на сжатие значительно увеличивается (в 20-40 раз), однако обоснования такому действию добавок на данный момент не найдено. Повышение расчетного напряжения разрушения бетона (таблица 3.4) может быть связано со структурно-фазовыми превращениями, происходящими в цементном камне при воздействии агрессивной среды.

Таблица 3.4

Изменения прочности бетонных образцов под воздействием агрессивных сред

Марка бетона по водонепроницаемости	Концентрация гидрофобизирующей добавки, %	Концентрация $MgCl_2$ в растворе, г/л	Расчетное напряжение разрушения, МПа
W4	0,3	-	49,2
		6	45,85
		7,5	38,28
		9	34,61
		11,5	28,13
		14	23,47
W6	0,5	-	50,48
		9	34,61
		11,5	30,65
		14	29,19
		16,5	27,89
		18	25,63
W8	0,7	-	63,39
		14	58,18
		16,5	49,23
		18	38,56
		19,5	34,27
		21	33,84

Увеличение расчетного напряжения разрушения бетонных образцов с увеличением концентрации гидрофобизирующей добавки может быть обусловлено тем, что добавка внедряется в структуру цементного камня, вызывая структурно-фазовые изменения (рис. 3.8).

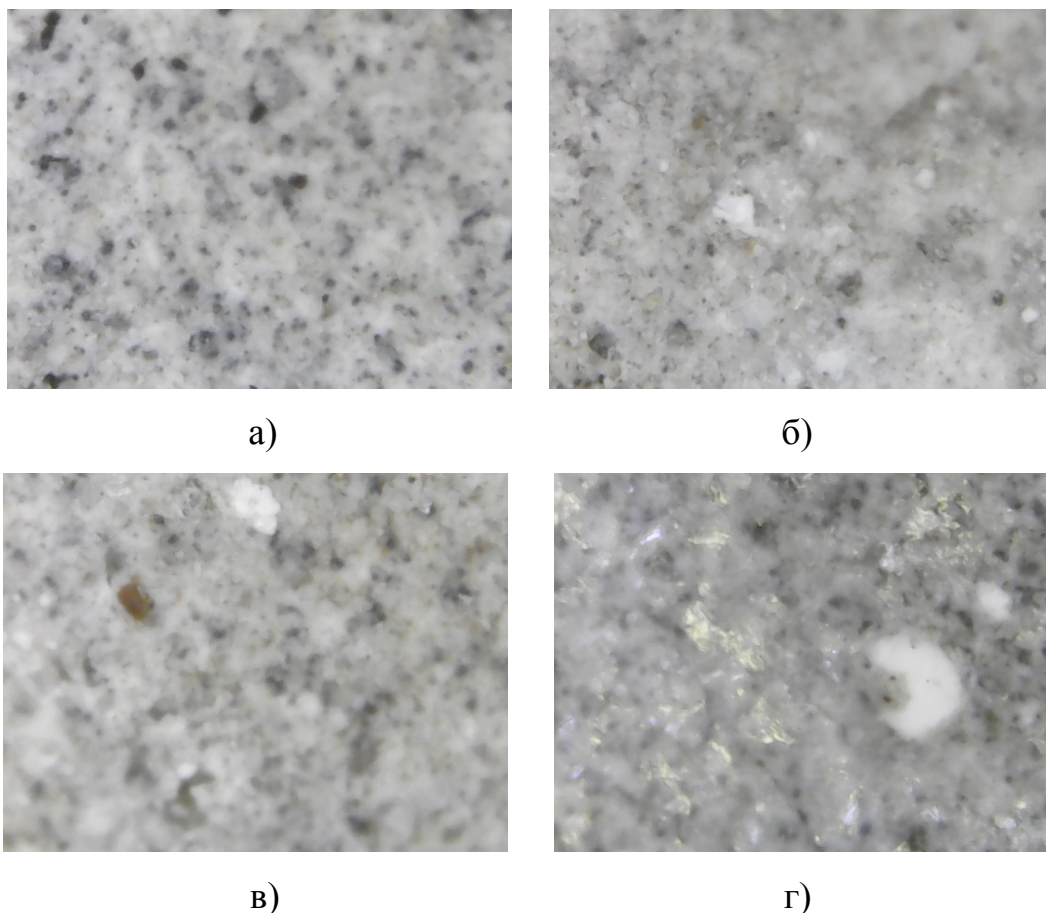
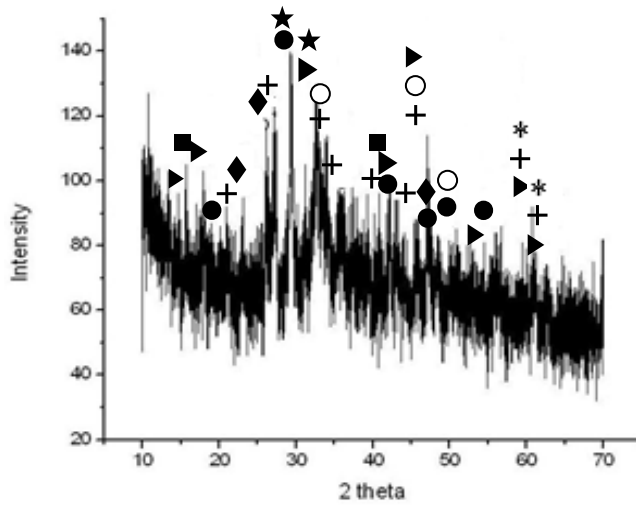


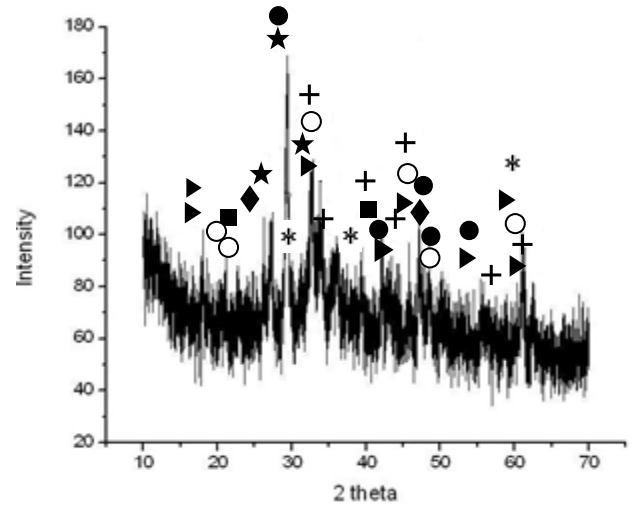
Рис. 3.8. Снимки поверхности бетонных образцов: а) без стеарата кальция; б) концентрация гидрофобизирующей добавки 0,3 %; в) концентрация гидрофобизирующей добавки 0,5 %; г) концентрация гидрофобизирующей добавки 0,7 %

Анализ рентгенограмм (рис. 3.8-3.10) образцов из цементного камня, представленный в таблицах 3.5-3.7, подтвердил [186], что после нахождения цементного камня в агрессивных средах наблюдается изменение интенсивности некоторых линий, а также появление новых [187]. Наблюдается совместное присутствие трехкальцевого алюмината C_3A (\blacktriangleleft) ($d = 4,980; 4,7205; 2,686; 1,92669; 1,664; 1,523; 1,47220 \text{ \AA}$) и браунмиллерита C_4AF (+) ($d = 3,84955; 3,27879; 2,64102; 2,52309; 2,15465;$

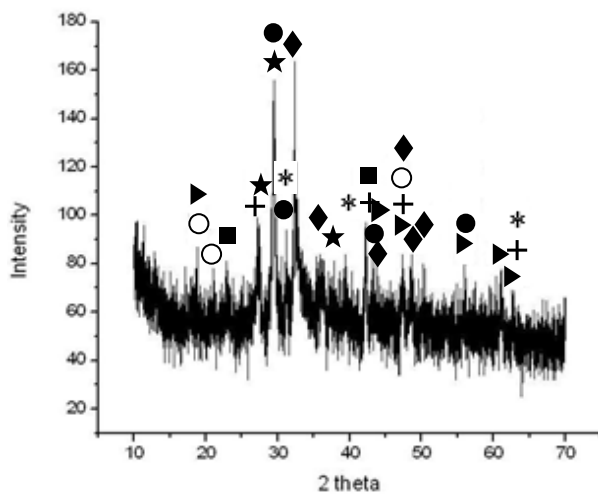
1,9845; 1,92478; 1,53575; 1,47372 Å); трехкальцевого алюмината C_3A (◄) и гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (●) ($d = 3,033; 2,87427; 2,08691; 1,87912; 1,79945; 1,66492$ Å); гидросиликата кальция $C_2SH(C)$ (◆) ($d = 3,85; 2,50; 1,88$ Å) и гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; белита C_2S (▲) ($d = 2,748; 2,060$ Å) и гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. На рентгенограммах до воздействия среды был обнаружен минерал тоберморит $Ca_5Si_6O_{17} \cdot 5H_2O$ (►) ($d = 6,05313; 4,89860$ Å). Также найдены: этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$ (■) ($d = 5,63000; 3,88583; 3,48613; 2,15798$ Å) и алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$ (*) ($d = 2,82725; 2,26268; 1,52026; 1,49211; 1,47224$ Å). Гидроксид кальция $Ca(OH)_2$ представлен минералом портландитом (○) ($d = 4,6957; 4,2030; 2,6593; 1,92711; 1,79650; 1,4937$ Å). Снижение интенсивности и исчезновение с рентгенограмм линий продукта гидратации алита и белита – гидросиликата кальция C_2SH коррелирует с данными прочностных испытаний цементных образцов после воздействия агрессивных сред (таблица 3.4). С увеличением агрессивности жидкой среды, структурной фазы – гидросиликата кальция $C_2SH(A)$ (◆) ($d = 3,2891; 2,06; 1,91$ Å) становится меньше, однако повышается интенсивность линий алита C_3S (★) ($d = 3,24545; 3,05464; 2,72956; 2,48487$ Å). После воздействия среднеагрессивной среды на рентгенограммах бетонных образцов появляется линия гидросиликата кальция $C_2SH(B)$ (◆) ($d = 3,39; 2,75; 2,49; 1,86; 1,82$ Å) максимальной интенсивности, такая же линия, но меньшей интенсивности присутствует на рентгенограммах бетонных образцов, побывавших в сильноагрессивной среде [186]. На рентгенограммах бетонных образцов после воздействия слабоагрессивной среды такой линии нет. Эти данные также коррелируют с данными таблицы 3.4, в которой отображена информация о меньшей прочности цементного камня с добавками гидрофобизатора, побывавшего в средне- и сильноагрессивной среде, по сравнению с образцом из слабоагрессивной среды.



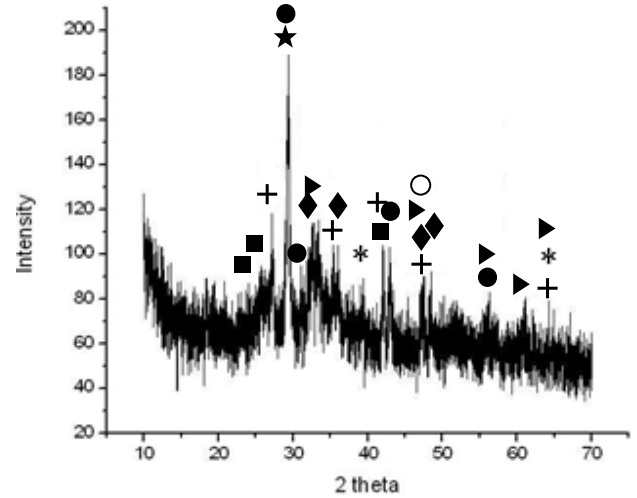
а)



б)

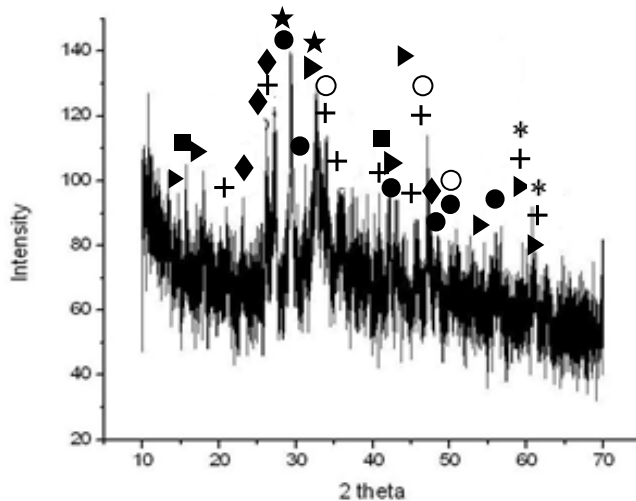


в)

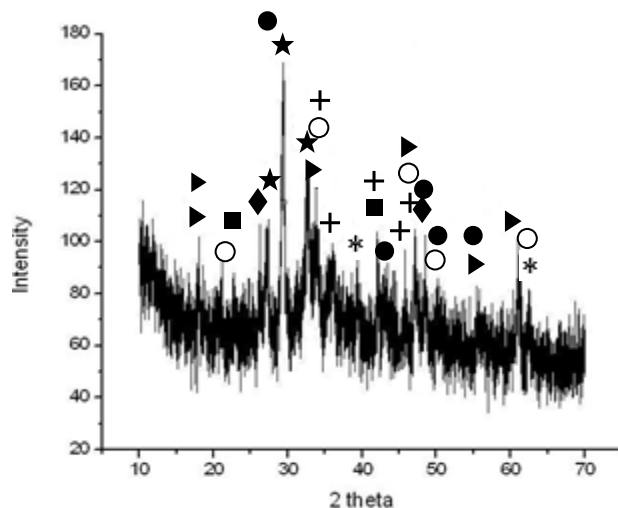


г)

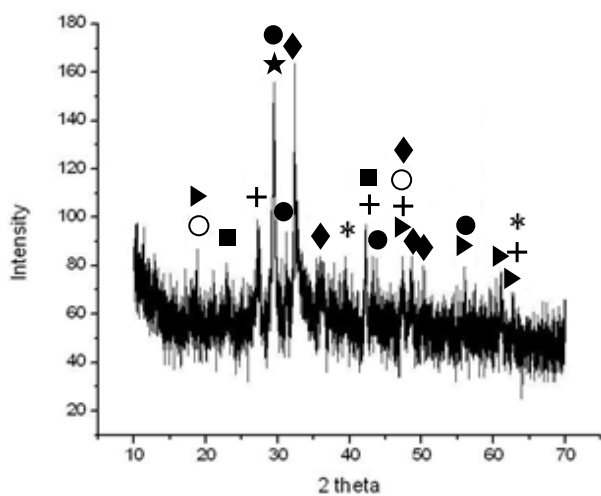
Рис. 3.8. Рентгенограммы образцов из цементного камня с добавкой гидрофобизатора в количестве 0,3 % от массы образца, подвергшихся воздействию жидких сред разной степени агрессивности: а) до воздействия; б) слабоагрессивная среда; в) среднеагрессивная среда; г) сильноагрессивная среда



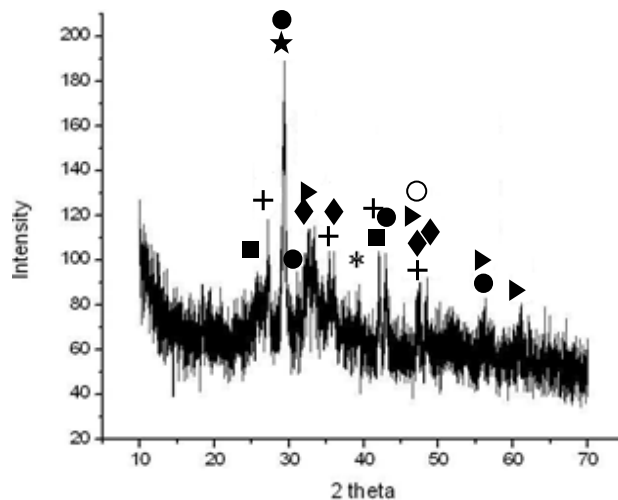
а)



б)

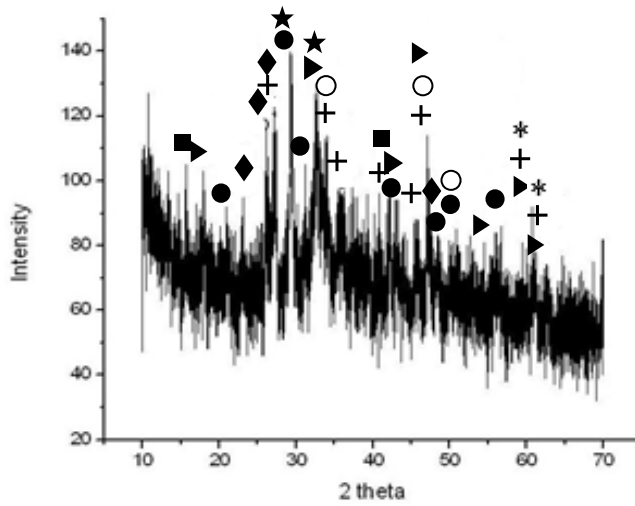


в)

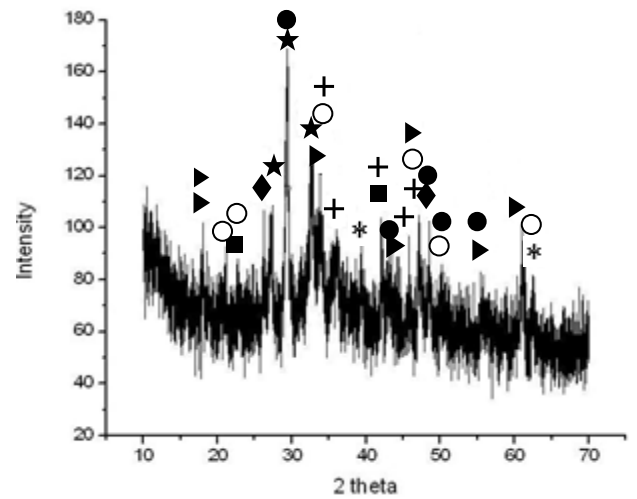


г)

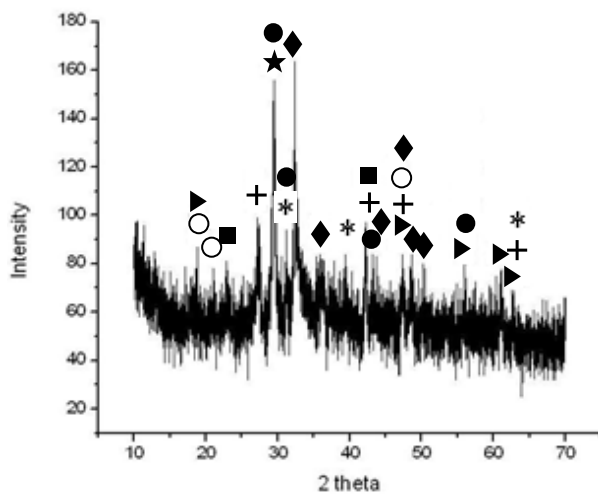
Рис. 3.9. Рентгенограммы образцов из цементного камня с добавкой гидрофобизатора в количестве 0,5 % от массы образца, подвергшихся воздействию жидких сред разной степени агрессивности: а) до воздействия; б) слабоагрессивная среда; в) среднеагрессивная среда; г) сильноагрессивная среда



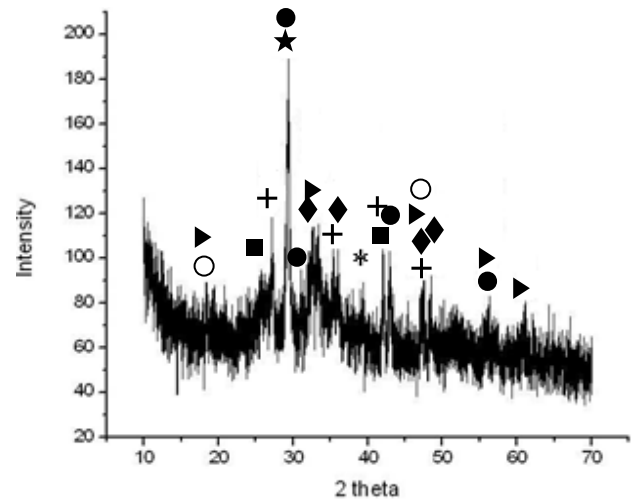
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.10. Рентгенограммы образцов из цементного камня с добавкой гидрофобизатора в количестве 0,7 % от массы образца, подвергшихся воздействию жидких сред разной степени агрессивности: а) до воздействия; б) слабоагрессивная среда; в) среднеагрессивная среда; г) сильноагрессивная среда

Таблица 3.5

Результаты качественного рентгенографического анализа цементных образцов марки по водонепроницаемости W4

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
<i>до воздействия среды</i>				
14,644	6,0438	69	Тоберморит $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{17} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	6,05313
15,702	5,6388	75	Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	5,63000
17,911	4,9481	74	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	4,980
20,898	4,2471	66	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4,27705
23,138	3,8407	67	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	3,84955
			Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{C})$ $1,75 \div 2,25 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0,3 \div 0,4 \text{ H}_2\text{O}$	3,85
25,596	3,4772	62	Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	3,48613
26,124	3,4081	82	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	3,39
27,151	3,2815	91	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$ $1,8 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1 \div 1,25 \text{ H}_2\text{O}$	3,2891
			Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	3,27879
29,391	3,0363	100	Алит C_3S $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,05464
			Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,033
32,751	2,7321	92	Алит C_3S $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,72956
			Белит C_2S $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,748
34,058	2,6301	81	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,64102
			Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	2,6593
35,644	2,5167	70	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,52309
42,147	2,1422	70	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,15465
			Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	2,15798
43,049	2,0994	67	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,08691
			Белит C_2S $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,060
45,911	1,9749	88,623	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,9845
47,093	1,9281	63	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,92669
			Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,92711

Продолжение таблицы 3.5

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
48,524	1,8745	59	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,87912
			Гидросиликат кальция C2SH(C) $1,75 \div 2,25 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0,3 \div 0,4 \text{ H}_2\text{O}$	1,88
50,889	1,7928	61	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,79945
			Портландит Ca(OH)_2	1,79650
55,96	1,6418	60	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,66492
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,664
60,782	1,5225	65	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,53575
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,523
			Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	1,52026
62,742	1,4796	53	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,47372
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,47220
			Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	1,47224
<i>после воздействия слабоагрессивной среды</i>				
18,036	4,9140	60	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	4,980
			Тоберморит $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{17} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	4,89860
21,178	4,1916	55	Портландит Ca(OH)_2	4,2030
22,733	3,9082	52	Портландит Ca(OH)_2	3,9103
			Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	3,88583
26,249	3,3922	63	Гидросиликат кальция C2SH(B) $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	3,39
27,431	3,2486	65	Алит $\text{C}_3\text{S3CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,24545
29,391	3,0363	100	Алит $\text{C}_3\text{S3CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,05464
			Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,033
31,476	2,8397	55	Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	2,82725
32,907	2,7195	77	Алит $\text{C}_3\text{S3CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,72956
33,809	2,6489	72	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,64102
			Портландит Ca(OH)_2	2,6593
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2,686
35,956	2,4955	59	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,52309
39,471	2,2810	56	Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	2,26268

Продолжение таблицы 3.5

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
42,022	2,1483	62	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	2,15465
			Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	2,15798
43,329	2,0864	54	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,08691
44,169	2,0487	53	Белит $C_2S2CaO \cdot SiO_2$	2,060
45,787	1,9799	58	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,9845
47,156	1,9256	62	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,92669
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,92711
48,524	1,8745	61	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,87912
			Гидросиликат кальция $C_2SH(C)$ $1,75 \div 2,25 CaO \cdot SiO_2 \cdot 0,3 \div 0,4 H_2O$	1,88
50,236	1,8146	51	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,79945
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,79650
55,431	1,6562	49	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,66492
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,664
58,947	1,5655	45	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,53575
61,031	1,5169	62	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,523
61,436	1,5086	60	Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	1,49211
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,4937
62,462	1,4856	49	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,47372
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,47220
<i>после воздействия среднеагрессивной среды</i>				
18,782	4,7205	53	Портландит $Ca(OH)_2$	4,6957
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	4,7205
20,991	4,2285	48	Портландит $Ca(OH)_2$	4,2030
22,858	3,8871	49	Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	3,88583
27,213	3,2741	61	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	3,27879
27,431	3,2486	59	Алит $C_3S3CaO \cdot SiO_2$	3,24545
29,516	3,0237	95	Алит $C_3S3CaO \cdot SiO_2$	3,05464
			Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3,033

Продолжение таблицы 3.5

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
31,258	2,8591	57	Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	2,82725
			Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,87427
32,378	2,7627	100	Гидросиликат кальция C2SH(B) $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	2,75
35,893	2,4998	51	Гидросиликат кальция C2SH(B) $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	2,49
			Гидросиликат кальция C2SH(C) $1,75 \div 2,25 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0,3 \div 0,4 \text{ H}_2\text{O}$	2,50
36,36	2,4687	50	Алит $\text{C}_3\text{S}_3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,48487
39,409	2,2845	52	Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	2,26268
42,271	2,1362	60	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,15465
			Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	2,15798
43,142	2,0950	51	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,08691
43,702	2,0695	51	Белит $\text{C}_2\text{S}_2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,060
			Гидросиликат кальция C2SH(A) $1,8 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1 \div 1,25 \text{ H}_2\text{O}$	2,06
47,373	1,9173	51	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,92669
			Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,92711
			Гидросиликат кальция C2SH(A) $1,8 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1 \div 1,25 \text{ H}_2\text{O}$	1,91
48,649	1,8699	51	Гидросиликат кальция C2SH(B) $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	1,86
50,236	1,8146	49	Гидросиликат кальция C2SH(B) $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	1,82
55,96	1,6418	48	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,66492
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,664
61,156	1,5141	48	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,523
62,586	1,4829	42	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,47372
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,47220
			Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	1,47224
<i>после воздействия сильноагрессивной среды</i>				
25,72	3,4607	50	Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	3,48613

Продолжение таблицы 3.5

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
25,782	3,4525	50	Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	3,48613
27,213	3,2741	63	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	3,27879
29,422	3,0332	100	Алит $\text{C}_3\text{S}3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,05464
			Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,033
31,071	2,8758	50	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,87427
32,627	2,7421	60	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	2,75
33,404	2,6802	61	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2,686
35,364	2,5359	56	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,52309
36,018	2,4914	55	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	2,49
			Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{C})$ $1,75 \div 2,25 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0,3 \div 0,4 \text{ H}_2\text{O}$	2,50
39,409	2,2845	47	Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	2,26268
42,022	2,1483	55	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,15465
			Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	2,15798
42,987	2,1022	55	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,08691
47,56	1,9102	48	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,92669
			Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,92711
48,524	1,8745	49	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	1,86
			Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,66492
56,333	1,6318	44	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,664
61,156	1,5141	43	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,523
64,422	1,4450	42	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,47372
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,47220
			Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	1,47224

Таблица 3.6

Результаты качественного рентгенографического анализа цементных образцов марки по водонепроницаемости W6

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
<i>до воздействия среды</i>				
14,644	6,0438	67	Тоберморит $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{17} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	6,05313
15,702	5,6388	73	Эттрингит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	5,63000
17,911	4,9481	70	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	4,980
22,962	3,8949	55	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	3,84955
23,138	3,8407	67	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{C})$ $1,75 \div 2,25 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0,3 \div 0,4 \text{ H}_2\text{O}$	3,85
26,124	3,4081	80	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	3,39
27,151	3,2815	92	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$ $1,8 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1 \div 1,25 \text{ H}_2\text{O}$	3,2891
			Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	3,27879
29,391	3,0363	100	Алит C_3S $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,05464
			Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,033
31,196	2,8646	75	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,87427
32,751	2,7321	95	Алит C_3S $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,72956
			Белит C_2S $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,748
34,058	2,6301	80	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,64102
			Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	2,6593
35,644	2,5167	67	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,52309
42,147	2,1422	66	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,15465
			Эттрингит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	2,15798
43,049	2,0994	62	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,08691
			Белит C_2S $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,060
45,911	1,9749	55	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,9845
47,093	1,9281	80	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,92669
			Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,92711
48,524	1,8745	40	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,87912
			Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{C})$ $1,75 \div 2,25 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0,3 \div 0,4 \text{ H}_2\text{O}$	1,88

Продолжение таблицы 3.6

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I , %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
50,889	1,7928	43	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,79945
			Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,79650
55,031	1,6681	45	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,66492
55,96	1,6418	47	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,664
60,782	1,5225	65	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,53575
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,523
			Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	1,52026
62,742	1,4796	43	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,47372
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,47220
			Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	1,47224
<i>после воздействия слабоагрессивной среды</i>				
18,036	4,9140	55	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	4,980
			Тоберморит $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{17} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	4,89860
21,178	4,1916	45	Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	4,2030
22,814	3,9571	40	Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	3,88583
26,249	3,3922	60	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	3,39
27,431	3,2486	61	Алит C_3S $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,24545
29,391	3,0363	100	Алит C_3S $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,05464
			Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,033
32,907	2,7195	75	Алит C_3S $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,72956
33,809	2,6489	72	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,64102
			Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	2,6593
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2,686
35,956	2,4955	45	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,52309
39,471	2,2810	40	Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	2,26268
42,022	2,1483	50	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,15465
			Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	2,15798
43,329	2,0864	45	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,08691
45,787	1,9799	50	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,9845

Продолжение таблицы 3.6

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
47,156	1,9256	52	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,92478
47,156	1,9256	52	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,92669
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,92711
48,524	1,8745	52	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,87912
			Гидросиликат кальция $C_2SH(C)$ $1,75 \div 2,25 CaO \cdot SiO_2 \cdot 0,3 \div 0,4 H_2O$	1,88
50,236	1,8146	40	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,79945
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,79650
55,431	1,6562	40	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,66492
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,664
61,031	1,5169	55	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,523
61,436	1,5086	45	Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	1,49211
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,4937
<i>после воздействия среднеагрессивной среды</i>				
18,782	4,7205	48	Портландит $Ca(OH)_2$	4,6957
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	4,7205
22,858	3,8871	45	Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	3,88583
27,213	3,2741	55	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	3,27879
29,516	3,0237	95	Алит C_3S $3CaO \cdot SiO_2$	3,05464
			Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3,033
31,258	2,8591	52	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,87427
32,378	2,7627	100	Гидросиликат кальция $C_2SH(B)$ $1,75 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,1 \div 1,5 H_2O$	2,75
35,893	2,4998	45	Гидросиликат кальция $C_2SH(B)$ $1,75 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,1 \div 1,5 H_2O$	2,49
			Гидросиликат кальция $C_2SH(C)$ $1,75 \div 2,25 CaO \cdot SiO_2 \cdot 0,3 \div 0,4 H_2O$	2,50
39,409	2,2845	45	Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	2,26268
42,271	2,1362	57	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	2,15465
			Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	2,15798
43,142	2,0950	51	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,08691
47,373	1,9173	51	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,92669

Продолжение таблицы 3.6

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I , %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
47,373	1,9173	51	Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,92711
			Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$ $1,8 \div 2,4 \text{ CaO-SiO}_2 \cdot 1 \div 1,25 \text{ H}_2\text{O}$	1,91
48,649	1,8699	52	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO-SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	1,86
50,236	1,8146	48	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO-SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	1,82
55,96	1,6418	48	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,66492
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,664
61,156	1,5141	47	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,523
62,586	1,4829	40	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,47372
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1,47220
			Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	1,47224
<i>после воздействия сильноагрессивной среды</i>				
25,782	3,4525	45	Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	3,48613
27,213	3,2741	65	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	3,27879
29,422	3,0332	100	Алит C_3S $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,05464
			Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,033
31,071	2,8758	45	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,87427
32,627	2,7421	60	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO-SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	2,75
33,404	2,6802	62	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2,686
35,364	2,5359	55	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,52309
36,018	2,4914	55	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75 \div 2,4 \text{ CaO-SiO}_2 \cdot 1,1 \div 1,5 \text{ H}_2\text{O}$	2,49
			Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{C})$ $1,75 \div 2,25 \text{ CaO-SiO}_2 \cdot 0,3 \div 0,4 \text{ H}_2\text{O}$	2,50
39,409	2,2845	43	Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	2,26268
42,022	2,1483	55	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,15465
			Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	2,15798
42,987	2,1022	55	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,08691
47,56	1,9102	45	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,92478

Продолжение таблицы 3.6

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
47,56	1,9102	45	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,92669
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,92711
			Гидросиликат кальция $C_2SH(A)$ $1,8 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1 \div 1,25 H_2O$	1,91
48,524	1,8745	47	Гидросиликат кальция $C_2SH(B)$ $1,75 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,1 \div 1,5 H_2O$	1,86
56,333	1,6318	42	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,66492
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,664
61,156	1,5141	40	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,523

Таблица 3.7

Результаты качественного рентгенографического анализа цементных образцов марки по водонепроницаемости W8

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
<i>до воздействия среды</i>				
15,702	5,6388	72	Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	5,63000
17,911	4,9481	70	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	4,980
20,898	4,2471	60	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	4,27705
23,138	3,8407	65	Гидросиликат кальция $C_2SH(C)$ $1,75 \div 2,25 CaO \cdot SiO_2 \cdot 0,3 \div 0,4 H_2O$	3,85
26,124	3,4081	77	Гидросиликат кальция $C_2SH(B)$ $1,75 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,1 \div 1,5 H_2O$	3,39
27,151	3,2815	85	Гидросиликат кальция $C_2SH(A)$ $1,8 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1 \div 1,25 H_2O$	3,2891
			Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	3,27879
29,391	3,0363	100	Алит C_3S $3CaO \cdot SiO_2$	3,05464
			Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3,033
31,196	2,8646	60	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,87427
32,751	2,7321	90	Алит C_3S $3CaO \cdot SiO_2$	2,72956
			Белит C_2S $2CaO \cdot SiO_2$	2,748
34,058	2,6301	80	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	2,64102
			Портландит $Ca(OH)_2$	2,6593
35,644	2,5167	68	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	2,52309

Продолжение таблицы 3.7

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
42,147	2,1422	66	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	2,15465
			Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	2,15798
43,049	2,0994	65	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,08691
			Белит C_2S $2CaO \cdot SiO_2$	2,060
45,911	1,9749	50	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,9845
47,093	1,9281	80	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,92669
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,92711
48,524	1,8745	45	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,87912
			Гидросиликат кальция $C_2SH(C)$ $1,75 \div 2,25 CaO \cdot SiO_2 \cdot 0,3 \div 0,4 H_2O$	1,88
50,889	1,7928	45	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,79945
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,79650
55,572	1,6598	40	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,66492
55,96	1,6418	45	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,664
60,782	1,5225	65	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,53575
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,523
			Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	1,52026
62,742	1,4796	40	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,47372
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,47220
			Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	1,47224
<i>после воздействия слабоагрессивной среды</i>				
18,036	4,9140	65	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	4,980
			Тоберморит $Ca_5Si_6O_{17} \cdot 5H_2O$	4,89860
21,178	4,1916	55	Портландит $Ca(OH)_2$	4,2030
22,733	3,9082	50	Портландит $Ca(OH)_2$	3,9103
			Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	3,88583
26,249	3,3922	67	Гидросиликат кальция $C_2SH(B)$ $1,75 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,1 \div 1,5 H_2O$	3,39
27,431	3,2486	69	Алит C_3S $3CaO \cdot SiO_2$	3,24545

Продолжение таблицы 3.7

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I , %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
29,391	3,0363	100	Алит C_3S $3CaO \cdot SiO_2$	3,05464
			Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3,033
32,907	2,7195	77	Алит C_3S $3CaO \cdot SiO_2$	2,72956
33,809	2,6489	75	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	2,64102
			Портландит $Ca(OH)_2$	2,6593
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	2,686
35,956	2,4955	55	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	2,52309
39,471	2,2810	50	Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	2,26268
42,022	2,1483	57	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	2,15465
			Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	2,15798
43,329	2,0864	50	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,08691
44,169	2,0487	50	Белит C_2S $2CaO \cdot SiO_2$	2,060
45,787	1,9799	55	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,9845
47,156	1,9256	65	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,92669
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,92711
48,524	1,8745	63	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,87912
			Гидросиликат кальция $C_2SH(C)$ $1,75 \div 2,25 CaO \cdot SiO_2 \cdot 0,3 \div 0,4 H_2O$	1,88
50,236	1,8146	50	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,79945
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,79650
55,431	1,6562	50	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,66492
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,664
61,031	1,5169	70	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,523
61,436	1,5086	50	Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	1,49211
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,4937
<i>после воздействия среднеагрессивной среды</i>				
18,782	4,7205	53	Портландит $Ca(OH)_2$	4,6957
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	4,7205
20,991	4,2285	45	Портландит $Ca(OH)_2$	4,2030
22,858	3,8871	48	Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	3,88583

Продолжение таблицы 3.7

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I, %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
27,213	3,2741	60	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	3,27879
29,516	3,0237	95	Алит C_3S $3CaO \cdot SiO_2$	3,05464
			Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3,033
31,258	2,8591	55	Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	2,82725
			Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,87427
32,378	2,7627	100	Гидросиликат кальция $C_2SH(B)$ $1,75 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,1 \div 1,5 H_2O$	2,75
35,893	2,4998	48	Гидросиликат кальция $C_2SH(B)$ $1,75 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,1 \div 1,5 H_2O$	2,49
			Гидросиликат кальция $C_2SH(C)$ $1,75 \div 2,25 CaO \cdot SiO_2 \cdot 0,3 \div 0,4 H_2O$	2,50
39,409	2,2845	49	Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	2,26268
42,271	2,1362	60	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	2,15465
			Этtringит $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	2,15798
43,142	2,0950	51	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,08691
43,702	2,0695	50	Гидросиликат кальция $C_2SH(A)$ $1,8 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1 \div 1,25 H_2O$	2,06
47,373	1,9173	50	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,92669
			Портландит $Ca(OH)_2$	1,92711
			Гидросиликат кальция $C_2SH(A)$ $1,8 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1 \div 1,25 H_2O$	1,91
48,649	1,8699	50	Гидросиликат кальция $C_2SH(B)$ $1,75 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,1 \div 1,5 H_2O$	1,86
50,236	1,8146	48	Гидросиликат кальция $C_2SH(B)$ $1,75 \div 2,4 CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,1 \div 1,5 H_2O$	1,82
55,96	1,6418	48	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	1,66492
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,664
61,156	1,5141	46	Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,523
62,586	1,4829	40	Браунмиллерит C_4AF $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	1,47372
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3CaO \cdot Al_2O_3$	1,47220
			Алюмосиликат кальция $CaAl_2Si_2O_8$	1,47224

после воздействия сильноагрессивной среды

Продолжение таблицы 3.7

Угол 2θ , град	d , Å	Интенсивность I , %	Идентифицируемая фаза	
			Вещество	d , Å (эталонный)
18,782	4,7205	42	Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	4,6957
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	4,7205
25,782	3,4525	45	Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$	3,48613
27,213	3,2741	65	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,27879
29,422	3,0332	100	Алит C_3S $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	3,05464
			Гипс $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,033
31,071	2,8758	45	Гипс $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,87427
32,627	2,7421	60	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75\div 2,4 \text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 1,1\div 1,5 \text{H}_2\text{O}$	2,75
33,404	2,6802	61	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	2,686
35,364	2,5359	55	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,52309
36,018	2,4914	55	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75\div 2,4 \text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 1,1\div 1,5 \text{H}_2\text{O}$	2,49
			Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{C})$ $1,75\div 2,25 \text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 0,3\div 0,4 \text{H}_2\text{O}$	2,50
39,409	2,2845	42	Алюмосиликат кальция $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	2,26268
42,022	2,1483	55	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,15465
			Этtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$	2,15798
42,987	2,1022	55	Гипс $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,08691
47,56	1,9102	45	Браунмиллерит C_4AF $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,92478
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	1,92669
			Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,92711
			Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$ $1,8\div 2,4 \text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 1\div 1,25 \text{H}_2\text{O}$	1,91
48,524	1,8745	45	Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$ $1,75\div 2,4 \text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 1,1\div 1,5 \text{H}_2\text{O}$	1,86
56,333	1,6318	42	Гипс $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,66492
			Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	1,664
61,156	1,5141	40	Трехкальциевый алюминат C_3A $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	1,523

Методами рентгенофазового анализа установлена тесная взаимосвязь между характеристиками структуры и параметрами прочности цементного камня. Рентгенограммы доказывают, что реальная долговременная прочность и трещиностойкость цементного камня и бетона определяются не только пористостью и степенью гидратации, но и составом и характеристиками дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня.

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

Модельные представления о характере процессов массопереноса в исследуемой системе «твердое тело – жидкая агрессивная среда» [44, 177, 178], 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 (3.1) [179, 197-200] 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 [179, 184, 185, 201].

По выражению (3.1) 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. 3.11) и W8 (рис. 3.12).

$$\begin{aligned}
\theta(\bar{x}, Fo_m) &= -\frac{Ki_m^*}{6}(6Fo_m + 3\bar{x}^2 - 1) + \frac{2Ki_m^*}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \\
&\cos(\pi n \bar{x}) \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo_m) + \int_0^1 \theta_0(\xi) d\xi + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos(\pi n \bar{x}) \int_0^1 \theta_0(\xi) \cos \\
&\pi n \xi d\xi \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo_m) + \left(Fo_m + \frac{3\bar{x}^2 + 2}{6}\right) \int_0^1 Po_m^*(\xi) d\xi \\
&- \int_0^1 Po_m^*(\xi) \cdot \xi \cdot d\xi + \frac{1}{2} \int_0^1 Po_m^*(\xi) \cdot \xi^2 \cdot d\xi - \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \cos(\pi n \bar{x}) \int_0^1 Po_m^* \\
&\cos(\pi n \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo_m),
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Здесь: n – число членов ряда; ξ – координата интегрирования в диапазоне

$0 \leq \xi \leq \bar{x}$; $Ki_m^* = \frac{q_6 \delta}{k C_0 \rho_6}$ – 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; $Po^*(\bar{x}) = \frac{q_v(x) \delta^2}{k C_0 \rho_6}$ –

модифицированный критерий Померанцева.

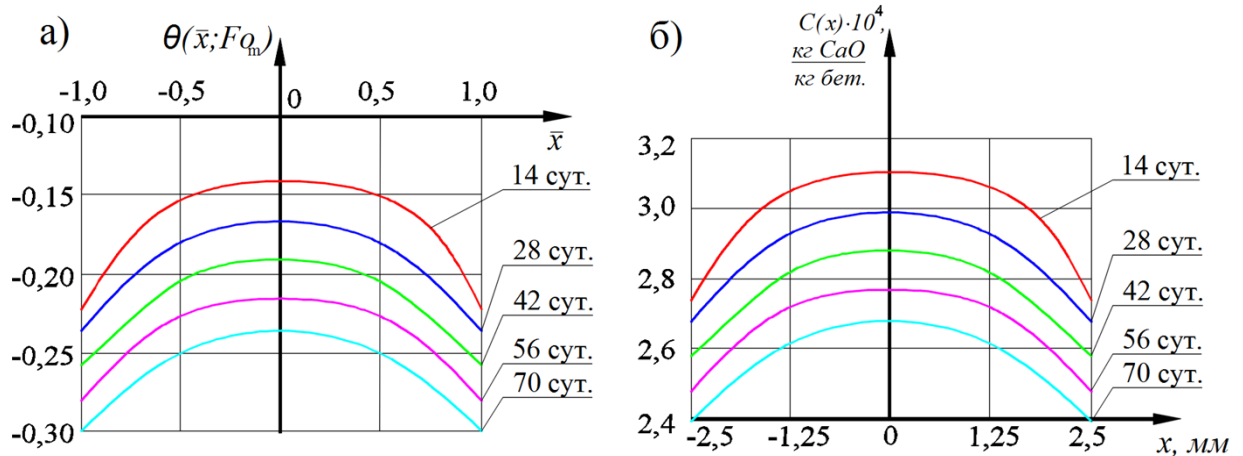


Рис. 3.11. Профили концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине бетонного образца марки по водонепроницаемости W6 в безразмерных координатах (а) и в координатах с реальными физическими размерами (б)

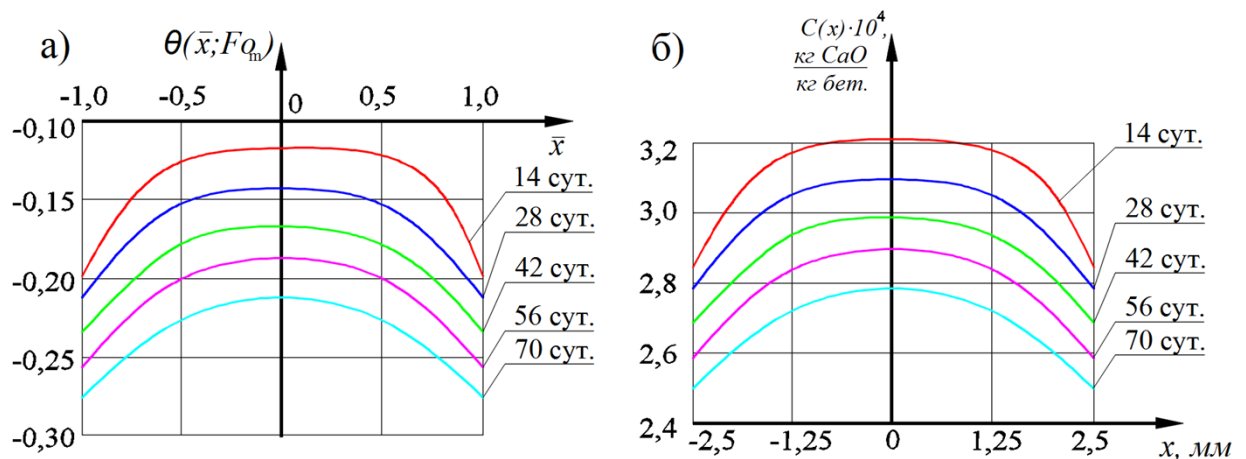


Рис. 3.12. Профили концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине бетонного образца марки по водонепроницаемости W8 в безразмерных координатах (а) и в координатах с реальными физическими размерами (б)

Анализ полученных профилей концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине образцов из цементного камня в водной солевой среде (рис. 3.11 и 3.12) [179, 183] позволяет определить градиенты концентраций переносимого компонента на границе раздела фаз и рассчитать по формуле (3.2) [200] значения коэффициентов массопроводности k для разных жидких сред.

$$k = \frac{q}{\rho_0 \frac{dC}{dx}}, \quad (3.2)$$

где: q – плотность потока массы вследствие химических реакций, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;
 ρ_0 – плотность твердой фазы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Расчет плотности потока массы вещества q из цементного камня в жидкую среду производится по уравнению [202]:

$$q = \frac{\Delta C_{ж}}{S \cdot \tau}, \quad (3.3)$$

где: $\Delta C_{ж}$ – масса вещества, перешедшего из цементного камня в жидкую среду, кг .

Для расчета процессов переноса вещества удобно вводить коэффициент массоотдачи β . Он определяется как отношение диффузионного потока к разности концентраций (3.4).

$$\beta = \frac{q}{\Delta C}, \quad (3.4)$$

где: ΔC – разность концентраций, кг/м³.

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8

Экспериментально определенные характеристики массопереноса

Для системы «2 %-ый водный раствор MgCl ₂ – цементный бетон марки по водонепроницаемости W6»						
№ п/п	Наименование показателя	τ , сут				
		14	28	42	56	70
1	Плотность потока «свободного Ca(OH) ₂ » в образце, кг/(м ² ·с)	5,34·10 ⁻⁸	3,14·10 ⁻⁸	2,2·10 ⁻⁸	1,65·10 ⁻⁸	1,32·10 ⁻⁸
2	Плотность потока Mg ²⁺ в жидкости, кг/(м ² ·с)	1,72·10 ⁻⁸	1,01·10 ⁻⁸	7,05·10 ⁻⁹	5,3·10 ⁻⁹	4,23·10 ⁻⁹
3	Коэффициент массоотдачи, м/с	7,03·10 ⁻⁷	4,13·10 ⁻⁷	2,89·10 ⁻⁷	2,17·10 ⁻⁷	1,74·10 ⁻⁷
4	Коэффициент массопроводности, м ² /с	5,9·10 ⁻⁹	4,63·10 ⁻⁹	3,89·10 ⁻⁹	3,65·10 ⁻⁹	3,5·10 ⁻⁹
Для системы «2 %-ый водный раствор MgCl ₂ – цементный бетон марки по водонепроницаемости W8»						
№ п/п	Наименование показателя	τ , сут				
		14	28	42	56	70
1	Плотность потока «свободного Ca(OH) ₂ » в образце, кг/(м ² ·с)	5,65·10 ⁻⁸	3,14·10 ⁻⁸	2,3·10 ⁻⁸	1,73·10 ⁻⁸	1,38·10 ⁻⁸
2	Плотность потока Mg ²⁺ в жидкости, кг/(м ² ·с)	1,81·10 ⁻⁸	1,01·10 ⁻⁸	7,44·10 ⁻⁹	5,72·10 ⁻⁹	4,41·10 ⁻⁹
3	Коэффициент массоотдачи, м/с	7,15·10 ⁻⁷	3,98·10 ⁻⁷	2,91·10 ⁻⁷	2,19·10 ⁻⁷	1,75·10 ⁻⁷
4	Коэффициент массопроводности, м ² /с	6,06·10 ⁻⁹	4,49·10 ⁻⁹	3,95·10 ⁻⁹	3,82·10 ⁻⁹	3,55·10 ⁻⁹

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 [177, 195, 203]. В качестве наглядного примера расчета долговечности по полученным данным на рис. 3.13 представлены результаты расчета полей концентраций «свободного гидроксида кальция» образца из армированного бетона толщиной 400 мм с маркой по водонепроницаемости W8 в 2 %-ом растворе $MgCl_2$.

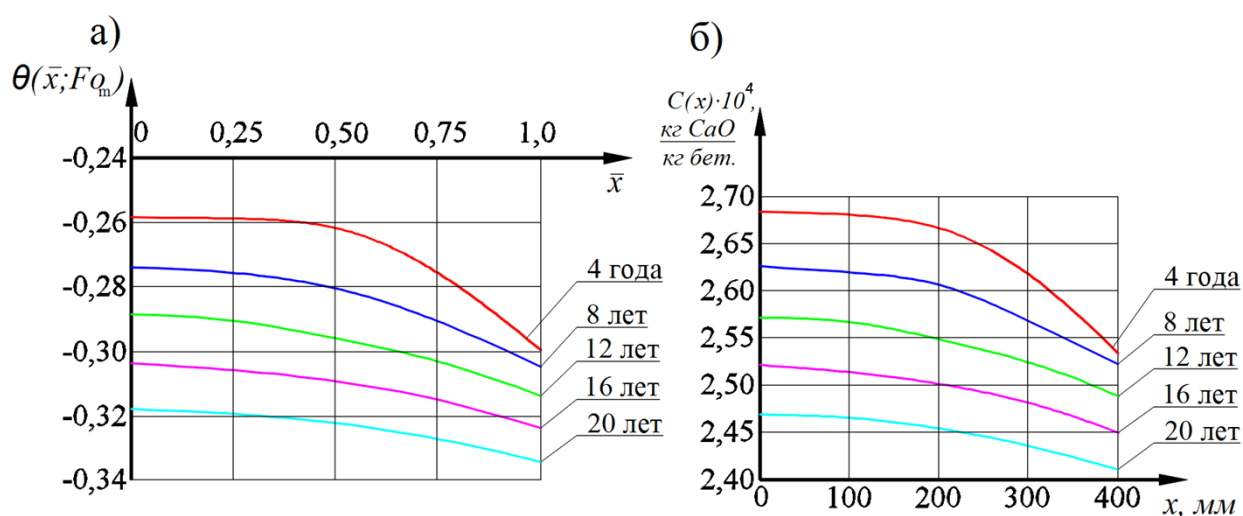


Рис. 3.13. Профили концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине образца из бетона марки по водонепроницаемости W8 в безразмерных координатах (а) и в координатах с реальными физическими размерами (б)

По построенным профилям концентраций «свободного гидроксида кальция» видно, что уже 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 идет по всей толщине бетонного образца, а к 20 годам концентрация «свободного гидроксида

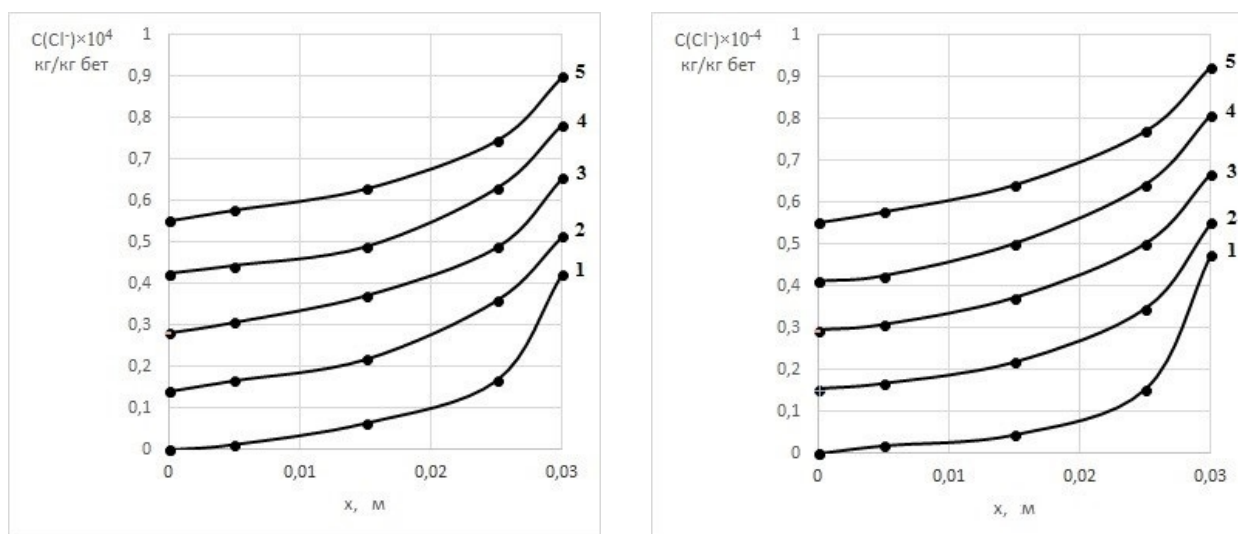
кальция» становится такой, что прочность бетона будет крайне низкая и не сможет обеспечить дальнейшую безопасную эксплуатацию изделия. Тогда как в бетоне без гидрофобизирующих добавок разложение высокоосновных составляющих цементного камня начинается через 2,5 года воздействия среды [177].

При помощи математического моделирования можно определять параметры коррозионного массопереноса и устанавливать сроки безопасной эксплуатации изделий и конструкций из бетона в различных жидких агрессивных средах. Приведенные рекомендации по гидрофобизации цементных бетонов позволяют увеличить срок службы изделий и конструкций из бетона.

По выражению (3.1) 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 [39, 195]. По полученным профилям концентрации «свободного гидроксида кальция» по толщине бетонного образца построены профили концентраций хлорид-ионов (рис. 3.14).

Полученные профили концентраций позволяют прогнозировать время достижения в бетоне концентрации 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 [78]. Для исследуемых бетонных образцов пороговое значение содержания хлорид-ионов составляет $2,8 \cdot 10^{-4}$ кг/кг бетона. Установлено [40, 41], 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.



а)

б)

Рис. 3.14. Профили концентраций хлорид-ионов по толщине образца 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

Эти расчетные данные были подтверждены результатами проведенных экспериментальных исследований изменения потенциала арматуры из стали марки Ст3, находящейся в цементных образцах, подвергающихся воздействию 2 %-ого водного раствора $MgCl_2$ (рис. 3.15).

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 проведения 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 [40, 41]. Данные подтверждают, что введение гидрофобизирующих добавок на стадии изготовления армированного бетонного изделия замедляет скорость проникновения агрессивных частиц через бетон к поверхности арматуры.

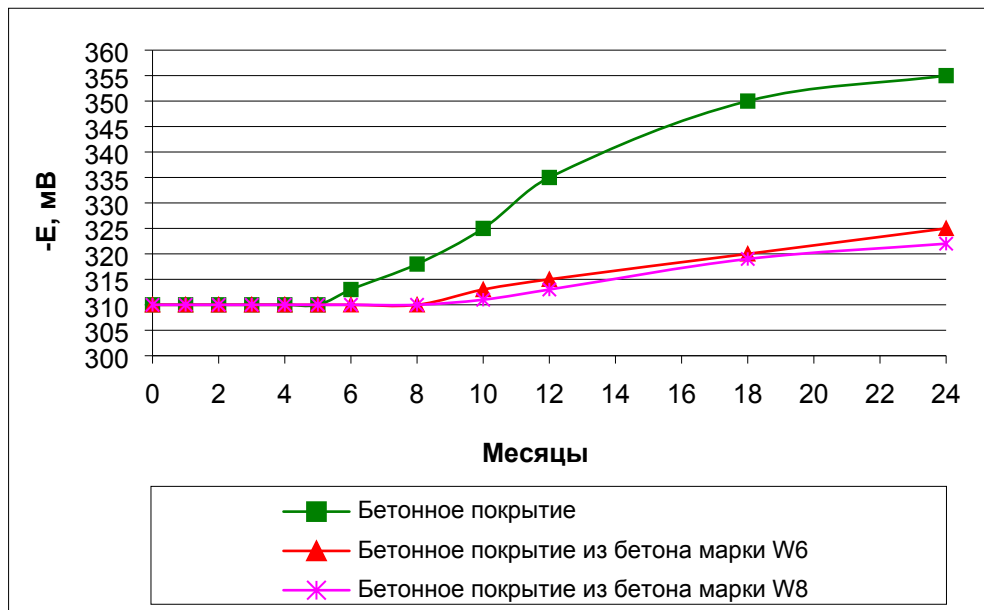


Рис. 3.15. Изменение потенциала поверхности стальной арматуры в цементных образцах, подвергающихся воздействию 2 %-ого водного раствора $MgCl_2$

Таким образом, введение гидрофобизирующих добавок позволяет предотвратить преждевременную коррозию стальной арматуры и последующую деструкцию железобетонного изделия в целом.

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ ПРИ КОРРОЗИИ В ЖИДКИХ СРЕДАХ

4.1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОЙ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В СРЕДЕ БЕТОНА И В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Для исследования стойкости стеклокомпозитной арматуры к воздействию различных сред образцы 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 $pH = 13$. Поверхность стержней покрывалась эпоксидной смолой, которая обеспечивает крепление наливки, незащищенными оставались только торцевые срезы с площадью поверхности $78,5 \text{ мм}^2$. По истечении 28 дней и 6 месяцев образцы взвешивали для определения изменения их массы, после чего проводили определение предела прочности на растяжение и модуля упругости образцов из стеклокомпозитной арматуры (таблица 4.1).

Результаты показывают, что в течение короткого срока (за 28 дней) изменений в значениях массы и прочностных характеристик стеклокомпозитной арматуры не происходит. За 28 дней проведения испытания вода не успела проникнуть в структуру волокна, а значит, стеклокомпозитная арматура не оказывает влияние на водоцементное отношение бетона в период отверждения композита.

Стеклокомпозитная арматура практически не подвергается воздействию агрессивных сред, однако из-за поглощения стекловолокном жидкой среды за более длительный период увеличивается масса арматуры, происходят структурные изменения внутри стержня, приводящие к снижению прочностных характеристик [100].

Характеристики стеклокомпозитной арматуры после воздействия
жидких сред

Вид среды	Время воздействия					
	28 дней			6 месяцев		
	Увеличение массы образца, %	Предел прочности на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа	Увеличение массы образца, %	Предел прочности на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа
-	-	1170	54700	-	1170	54700
Вода	-	1169	54700	8,13	1155	54600
2 %-ый водный раствор $MgCl_2$	-	1166	54700	9,02	1130	54500
$NaOH + CaCO_3$ (pH = 13)	-	1167	54700	8,77	1010	50100

Через 6 месяцев пребывания стрежней 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 внутрипоровую среду бетона [45].

4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЦЕПЛЕНИЯ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ ПРИ КОРРОЗИИ В СРЕДАХ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ АГРЕССИВНОСТИ

Для опровержения гипотезы о превалирующем значении силы приклеивания навивки к поверхности арматурного стержня была проведена серия экспериментов по выдергиванию прутков стеклокомпозитной арматуры с различными видами покрытий и типами навивок из бетонного куба [44, 46, 204]. Образцы стеклокомпозитной арматуры представляли собой обрезки стержней 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, также поверхность была обработана плазмой.

Испытания проводились на «Приспособлении для проведения испытания по вырыванию из бетона прутка композитной арматуры» (патент на полезную модель РФ № 149570 (Приложение 6)) после набора бетонным образцом прочности в течение 28 суток. В ходе испытаний было выявлено [46], что бетонные кубики при вырывании арматурных стержней растрескивались (рис. 4.1), что могло повлиять на достоверность получаемых при испытании результатов.



Рис. 4.1. Схемы разрушения бетонных кубиков при вырывании арматурных стержней

На основании анализа разрушений был сделан вывод, что бетонные кубики раскалываются от «расклинивающего» воздействия, возникающего при перемещении прутка арматуры вдоль отверстия (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Расколовшийся бетонные образец с очертаниями отверстия, занимаемого арматурой

Для наглядности приведена схема с указанием перемещений композитного прутка (рис. 4.3). На рис. 4.3 сплошной линией обозначено первоначальное положение арматурного стержня, а штриховой – его положение при вырывании. Заштрихованные контуры показывают области, в которых происходит расклинивающее воздействие на бетонный куб.

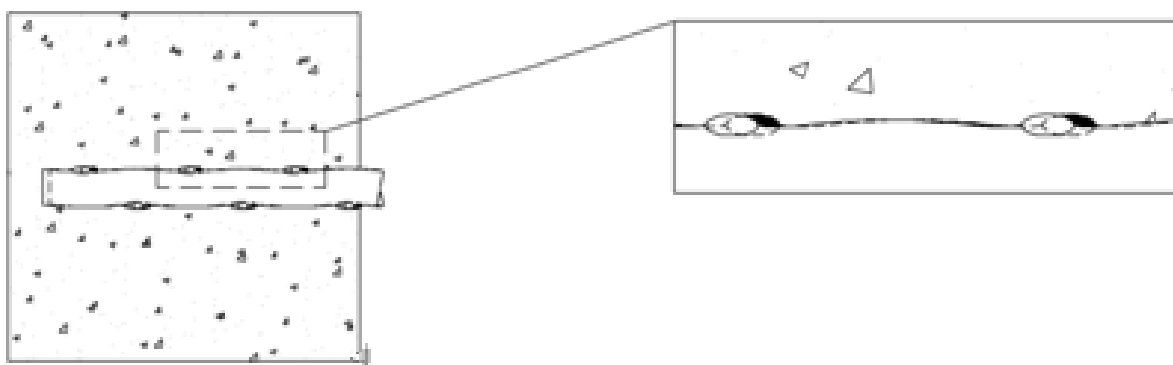


Рис. 4.3. Схема образования расклинивающих областей в бетонном кубике при движении арматурного стержня вправо

Таким образом, стеклокомпозитная арматура может оказывать механическое воздействие на бетон, раскалывая или откалывая его как в зоне анкеровки, так и на всем протяжении стержня. В местах повреждения бетона расчетное сечение может оказаться без арматуры, а, следовательно, выключиться из работы конструкции, что приведет к возникновению аварийной ситуации.

Поэтому была проведена дополнительная серия испытаний по выдергиванию арматурных прутков из бетона в жесткой несъемной опалубке, предотвращающей растрескивание бетонного образца [43, 46]. Опалубка представляла собой металлическую трубу диаметром 100 мм, толщиной стенки 4 мм и длиной 150 мм. Результаты испытаний представлены в таблице 4.2.

Из полученных результатов следует, что разница усилий вырывания образцов стеклокомпозитной арматуры с напыленными покрытиями в пределах серии опытов находится в пределах 5 %. Данные свидетельствуют о том, что тонкослойные покрытия не влияют на прочность анкеровки, а характер анкеровки стеклокомпозитных стержней с полимерным связующим не является адгезионным.

Таблица 4.2

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

Вид поверхности	До воздействия среды		После выдерживания в воде		После выдерживания в 2 %-ом растворе MgCl ₂	
	Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН	
	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка
Без покрытия	41,0	40,8	39,1	39,0	38,3	38,2
Напыление из нержавеющей стали	37,9	43,4	36,5	39,8	34,0	34,1
Напыление из оксида титана	36,4	44,0	35,7	37,1	33,2	33,5
Обработка плазмой	40,4	45,8	38,7	39,3	36,6	37,1
Спиралевидная навивка	53,3	55,7	50,1	50,4	44,0	44,2

4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЦЕПЛЕНИЯ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ С ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫМИ БЕТОНАМИ ПРИ КОРРОЗИИ В СРЕДАХ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ АГРЕССИВНОСТИ

Для определения прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с гидрофобизированными бетонами проведен ряд испытаний образцов арматурных стержней с различными видами обработки поверхности (таблицы 4.3-4.5).

Данные доказывают, что с введением гидрофобизирующих добавок в цементную смесь происходит увеличение усилия, необходимого для вырывания прутка стеклокомпозитной арматуры из бетонного образца. Эти данные согласуются с данными таблицы 3.4. Очевидно, что увеличение усилия вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетона напрямую связано с повышением прочности испытываемых бетонных образцов. С повышением агрессивности среды усилие вырывания прутка стеклокомпозитной арматуры ожидаемо понижается из-за структурных изменений, происходящих при коррозии цементного камня в жидких агрессивных средах. Для образцов из бетона марки по водонепроницаемости W8 наблюдается меньшее снижение усилия вырывания прутка стеклокомпозитной арматуры по сравнению с другими бетонными образцами.

Проведем сравнение результатов испытаний бетонных образцов без гидрофобизирующих добавок (таблица 4.2) и результатов испытаний образцов из бетонов марок по водонепроницаемости W4, W6 и W8 (таблицы 4.3-4.5).

Усилие вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетонных образцов марки по водонепроницаемости W4, не подвергавшихся воздействию агрессивной среды, увеличилось по сравнению с бетонными образцами без добавок на 10 % для прутков стеклокомпозитной арматуры без обработки поверхности и с обработанной плазмой поверхностью, на 16 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напыленными покрытиями и на 20,5 % для прутков стеклокомпозитной арматуры со спиралевидной навивкой.

Таблица 4.3

Усилия вырывания стеклокомпозитной арматуры с разными видами обработки поверхности и типами навивки
из бетона марки по водонепроницаемости W4

Вид поверхности	До воздействия среды		После воздействия слабоагрессивной среды		После воздействия среднеагрессивной среды		После воздействия сильноагрессивной среды	
	Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН	
	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка
Без покрытия	45,0	45,6	44,3	44,0	42,1	42,2	39,9	39,8
Напыление из нержавеющей стали	44,1	44,9	43,1	43,5	40,7	40,7	38,0	38,1
Напыление из оксида титана	42,3	42,7	41,7	41,8	38,2	38,5	36,2	36,5
Обработка плазмой	44,4	44,8	42,1	42,6	40,8	41,3	38,6	39,1
Спиралевидная навивка	64,3	65,9	63,9	64,5	57,1	57,4	54,0	54,2

Таблица 4.4

Усилия вырывания стеклокомпозитной арматуры с разными видами обработки поверхности и типами навивки
из бетона марки по водонепроницаемости W6

Вид поверхности	До воздействия среды		После воздействия слабоагрессивной среды		После воздействия среднеагрессивной среды		После воздействия сильноагрессивной среды	
	Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН	
	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка
Без покрытия	48,4	48,7	47,5	47,6	44,7	44,9	42,3	42,8
Напыление из нержавеющей стали	47,0	47,2	45,8	46,0	42,5	42,7	39,7	40,1
Напыление из оксида титана	45,7	45,8	44,8	45,1	41,2	41,5	38,8	39,0
Обработка плазмой	46,4	46,6	44,3	44,8	41,5	41,8	38,8	38,9
Спиралевидная навивка	69,9	70,1	68,7	68,9	61,2	61,4	57,6	58,0

Таблица 4.5

Усилия вырывания стеклокомпозитной арматуры с разными видами обработки поверхности и типами навивки
из бетона марки по водонепроницаемости W8

Вид поверхности	До воздействия среды		После воздействия слабоагрессивной среды		После воздействия среднеагрессивной среды		После воздействия сильноагрессивной среды	
	Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН	
	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка
Без покрытия	54,2	54,7	53,5	53,4	51,0	51,1	48,1	48,3
Напыление из нержавеющей стали	50,3	50,8	49,0	49,2	45,5	45,7	42,0	42,4
Напыление из оксида титана	47,9	48,2	46,2	46,4	42,6	42,6	39,8	39,9
Обработка плазмой	49,0	49,1	46,9	47,1	42,0	42,4	39,4	39,5
Спиралевидная навивка	75,1	75,5	73,5	73,7	66,5	66,8	62,2	62,4

Усилие вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетонных образцов марки по водонепроницаемости W6, не подвергавшихся воздействию агрессивной среды, увеличилось по сравнению с бетонными образцами без добавок на 18 % для прутков стеклокомпозитной арматуры без обработки поверхности, на 15 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с обработанной плазмой поверхностью, на 25 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напыленными покрытиями и на 31 % для прутков стеклокомпозитной арматуры со спиралевидной навивкой.

Усилие вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетонных образцов марки по водонепроницаемости W8, не подвергавшихся воздействию среды, увеличилось по сравнению с образцами без добавок на 32 % для прутков стеклокомпозитной арматуры без обработки поверхности и с напыленными покрытиями, на 21 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с обработанной плазмой поверхностью и на 41 % для прутков стеклокомпозитной арматуры со спиралевидной навивкой.

Усилие вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетонных образцов марки по водонепроницаемости W4, подвергавшихся воздействию слабоагрессивной среды, увеличилось по сравнению с образцами без добавок на 13 % для прутков стеклокомпозитной арматуры без обработки поверхности, на 9 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с обработанной плазмой поверхностью, на 17 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напыленными покрытиями и на 27,5 % для прутков стеклокомпозитной арматуры со спиралевидной навивкой.

Усилие вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетонных образцов марки по водонепроницаемости W6, подвергавшихся воздействию слабоагрессивной среды, увеличилось по сравнению с образцами без добавок на 21,5 % для прутков стеклокомпозитной арматуры без обработки поверхности, на 14,5 % для прутков стеклокомпозитной

арматуры с обработанной плазмой поверхностью, на 25,5 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напыленными покрытиями и на 37 % для прутков стеклокомпозитной арматуры со спиралевидной навивкой.

Усилие вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетонных образцов марки по водонепроницаемости W8, подвергавшихся воздействию слабоагрессивной среды, увеличилось по сравнению с образцами без добавок на 37 % для прутков стеклокомпозитной арматуры без обработки поверхности, на 21 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с обработанной плазмой поверхностью, на 34 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напылением из нержавеющей стали, на 29 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напылением из оксида титана и на 47 % для прутков стеклокомпозитной арматуры со спиралевидной навивкой.

Усилие вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетонных образцов марки по водонепроницаемости W4, подвергавшихся воздействию сильноагрессивной среды, увеличилось по сравнению с образцами без добавок на 4 % для прутков стеклокомпозитной арматуры без обработки поверхности, на 5,5 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с обработанной плазмой поверхностью, на 12 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напылением из нержавеющей стали, на 9 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напылением из оксида титана и на 23 % для прутков стеклокомпозитной арматуры со спиралевидной навивкой.

Усилие вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетонных образцов марки по водонепроницаемости W6, подвергавшихся воздействию сильноагрессивной среды, увеличилось по сравнению с образцами без добавок на 4 % для прутков стеклокомпозитной арматуры без обработки поверхности, на 10 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с обработанной плазмой поверхностью, на 16,8 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напыленными покрытиями и на

31 % для прутков стеклокомпозитной арматуры со спиралевидной навивкой.

Усилие вырывания стеклокомпозитной арматуры из бетонных образцов марки по водонепроницаемости W8, подвергавшихся воздействию сильноагрессивной среды, увеличилось по сравнению с образцами без добавок на 25,5 % для прутков стеклокомпозитной арматуры без обработки поверхности, на 8 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с обработанной плазмой поверхностью, на 23,5 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напылением из нержавеющей стали, на 20 % для прутков стеклокомпозитной арматуры с напылением из оксида титана и на 41 % для прутков стеклокомпозитной арматуры со спиралевидной навивкой.

Анализ результатов показал, 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.

4.4. РАЗРАБОТКА НАВИВКИ ДЛЯ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО СЦЕПЛЕНИЯ С БЕТОНОМ

При разрушении бетонного покрытия навивка стеклокомпозитной арматуры зачастую скалывается и частично сдвигается с поверхности стержня. Это связано с тем, что навивка приклеивается к поверхности арматурного стержня и держится на ней недостаточно прочно. В связи с этим была поставлена цель разработать вид навивки, который бы обеспечил высокое сцепление стеклокомпозитной арматуры с бетоном и препятствовал разрушению профиля стеклокомпозитной арматуры при

нарушении сплошности бетонного покрытия. В качестве основы был взят периодический профиль стальной арматуры (рис. 4.4).

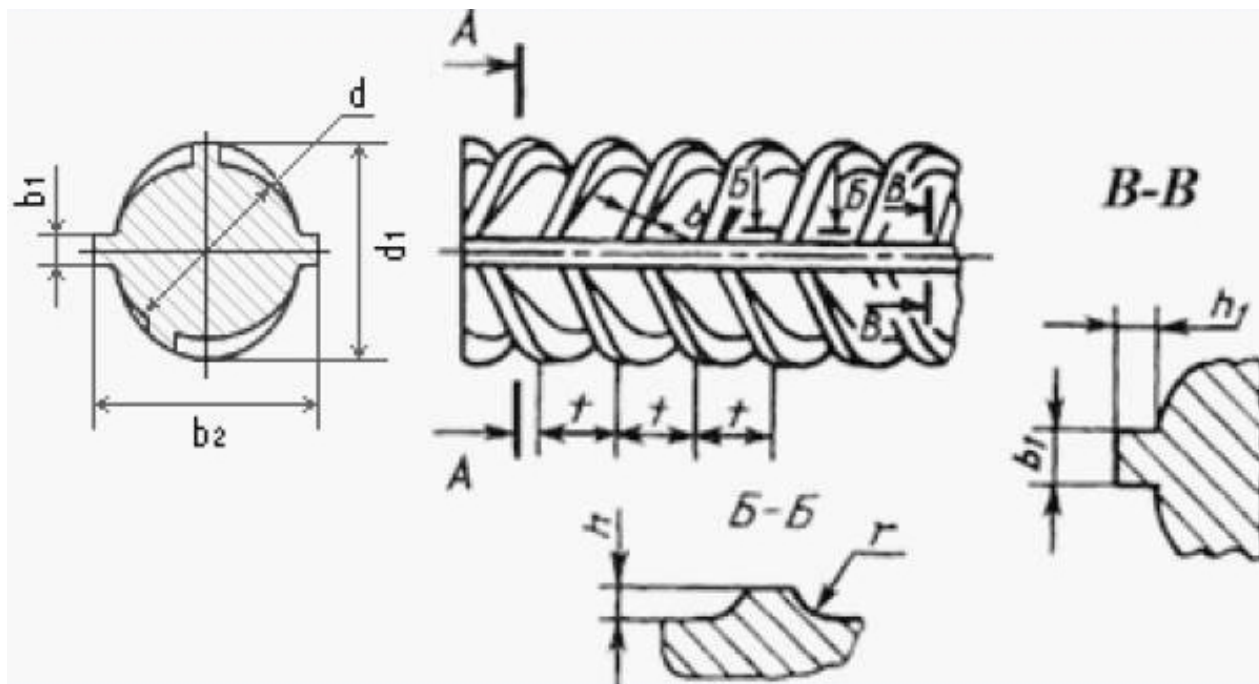


Рис. 4.4. Периодический профиль стальной горячекатаной арматуры

Однако 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 принято решение оставить только одно ребро жесткости при формировании профиля стеклокомпозитной арматуры (рис. 4.5).

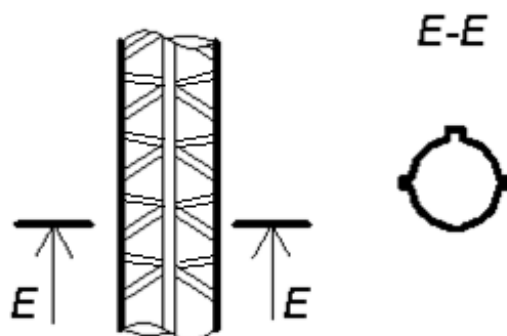


Рис. 4.5. Формируемый периодический профиль стеклокомпозитной арматуры

Для захватывания нити навивки при обмотке ею арматурного стержня необходим инструмент, подобный крючку для вязания. Технология получения навивки периодического профиля заключается в следующем:

1. Стержень стеклокомпозитной арматуры устанавливается неподвижно. На одном конце стержня закрепляется нить навивки (рис. 4.6).

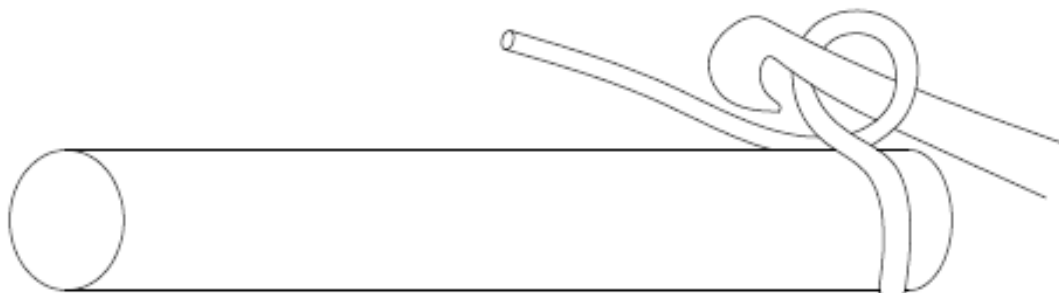


Рис. 4.6. Изображение начальной стадии создания периодического профиля стеклокомпозитной арматуры

2. Рабочий инструмент вводится под стержень стеклокомпозитной арматуры и захватывает рабочую нить навивки (рис. 4.7).

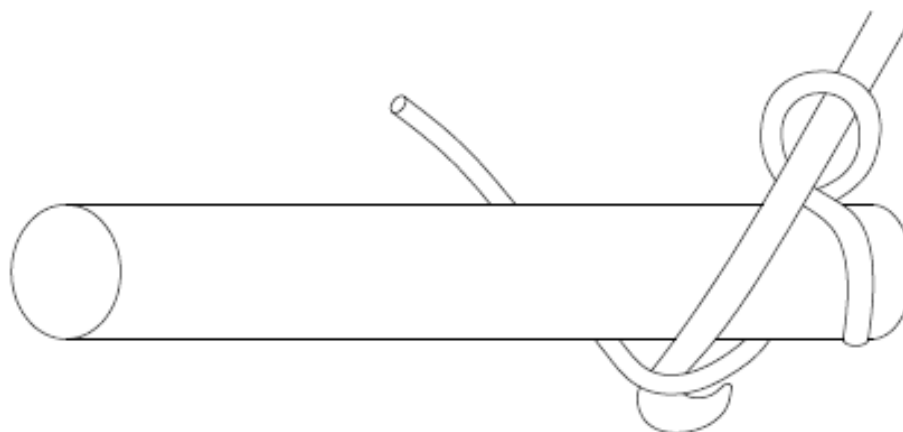


Рис. 4.7. Захват нити навивки

3. Затем рабочая нить протаскивается через стержень стеклокомпозитной арматуры. Таким образом, на рабочем инструменте получается две петли (рис. 4.8).

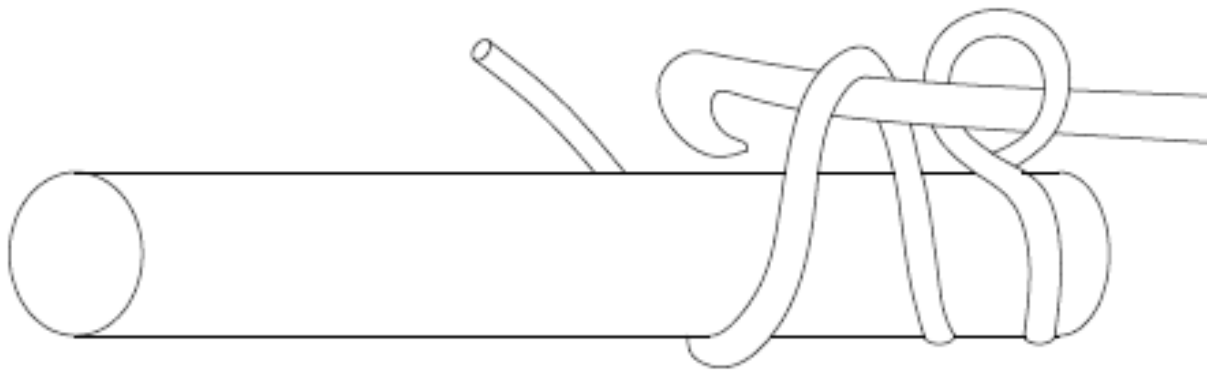


Рис. 4.8. Вытягивание нити навивки

4. Затем рабочий инструмент вводится под нить навивки, захватывая ее (рис. 4.9).

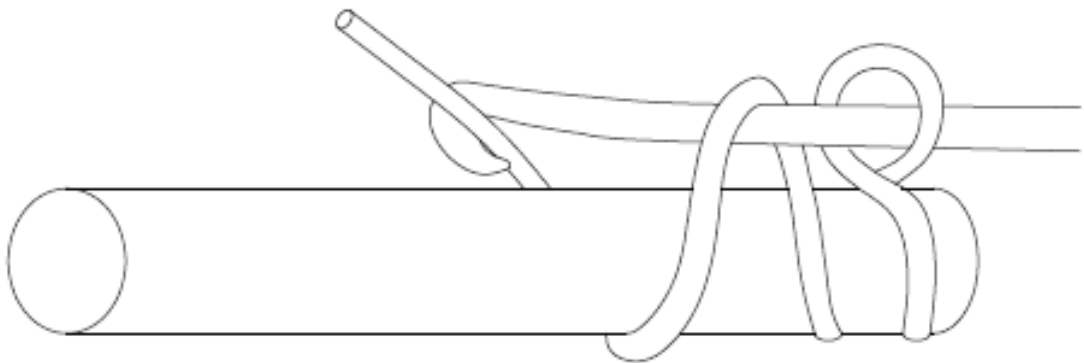


Рис. 4.9. Захват нити навивки

5. И, наконец, рабочая нить протягивается через две петли, имеющиеся на крючке (рис. 4.10).

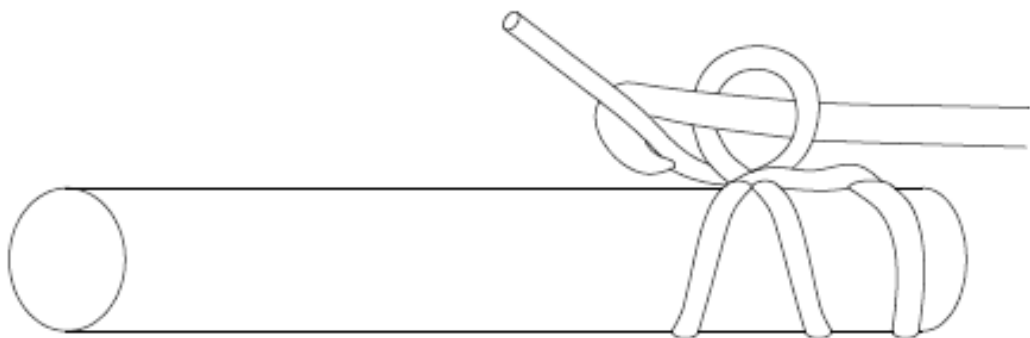


Рис. 4.10. Получение первого витка навивки

6. Повторяются п. 1-5 до конца арматурного стержня.

Таким образом, на стержне стеклокомпозитной арматуры получается навивка периодического профиля (рис. 4.11-б).

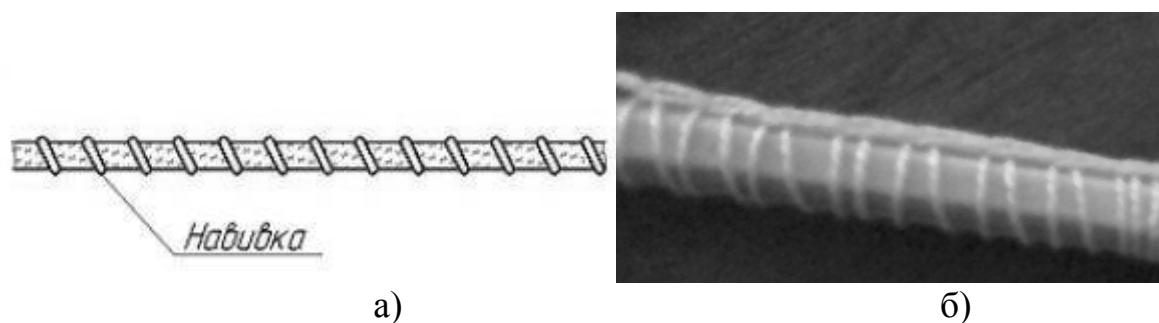


Рис. 4.11. Виды испытуемой навивки стеклокомпозитной арматуры:

а) спиралевидная; б) периодического профиля

Периодический профиль навивки оказывает положительное влияние на физико-механические характеристики стержня стеклокомпозитной арматуры. Данные показывают (таблица 4.6), что у образцов стеклокомпозитной арматуры с разработанным видом навивки происходит увеличение предела прочности на растяжение и изгиб, а это значит, что изделия из композита выдержат большую нагрузку. Увеличение модуля упругости приводит к тому, что образцы стеклокомпозитной арматуры будет сложнее «растянуть».

Испытаниям прочности сцепления стеклокомпозитной арматуры с бетоном подвергались образцы со стандартной спиралевидной навивкой (рис. 4.11-а) и новым видом навивки, схожим с периодическим профилем стальной арматуры железобетона (рис. 4.11-б), а также образцы с другими видами обработки поверхности (таблица 4.7) [42, 46].

Испытания проводились на «Приспособлении для проведения испытания по вырыванию из бетона прутка композитной арматуры» (патент на полезную модель РФ № 149570 (Приложение б)) после набора бетонным образцом прочности в течение 28 суток.

Технические характеристики стеклокомпозитной арматуры с различными видами обработки поверхности

Вид обработки поверхности	Предел прочности на изгиб, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа
Без покрытия	1380	1170	54700
Напыление из нержавеющей стали	1350	1150	55300
Напыление из оксида титана	1340	1130	55100
Обработка плазмой	1300	1100	55000
Спиралевидная навивка	1452	1157	55700
Навивка периодического профиля	1840	1430	56300

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 [42, 46].

Таблица 4.7

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

Вид поверхности	До воздействия среды		После воздействия воды		После воздействия 2 %-ого раствора $MgCl_2$	
	Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН	
	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка
Без покрытия	41,0	40,8	39,1	39,0	38,3	38,2
Напыление из нержавеющей стали	37,9	43,4	36,5	39,8	34,0	34,1
Напыление из оксида титана	36,4	44,0	35,7	37,1	33,2	33,5
Обработка плазмой	40,4	45,8	38,7	39,3	36,6	37,1
Спиралевидная навивка	53,3	55,7	50,1	50,4	44,0	44,2
Навивка периодического профиля	79,1	82,8	74,6	74,9	65,5	65,6

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 в таблицах 4.8 и 4.9.

Очевидно, что снижение механической прочности бетона при коррозии сказывается на сцеплении стеклокомпозитной арматуры с бетонными образцами 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 стержню, что снижает возможность проскальзывания навивки относительно арматурного прутка, а также увеличивается сцепление стеклокомпозитной арматуры с бетоном по сравнению со спиралевидной навивкой на 49 %. Для гидрофобизированных бетонных образцов сцепление со стержнем стеклокомпозитной арматуры увеличивается 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.

Таблица 4.8

Усилия вырывания стеклокомпозитной арматуры с разными видами обработки поверхности и типами навивки из бетона марки по водонепроницаемости W6

Вид поверхности	До воздействия среды		После воздействия слабоагрессивной среды		После воздействия сильноагрессивной среды	
	Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН	
	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка
Без покрытия	48,4	48,7	47,5	47,6	42,3	42,8
Напыление из нержавеющей стали	47,0	47,2	45,8	46,0	39,7	40,1
Напыление из оксида титана	45,7	45,8	44,8	45,1	38,8	39,0
Обработка плазмой	46,4	46,6	44,3	44,8	38,8	38,9
Спиралевидная навивка	69,9	70,1	65,7	65,9	57,6	58,0
Навивка периодического профиля	111,8	112,0	105,1	105,6	92,2	92,7

Таблица 4.9

Усилия вырывания стеклокомпозитной арматуры с разными видами обработки поверхности и типами навивки из бетона марки по водонепроницаемости W8

Вид поверхности	До воздействия среды		После воздействия слабоагрессивной среды		После воздействия сильноагрессивной среды	
	Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН		Усилие вырывания, кН	
	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка	Бетонный куб	Несъемная опалубка
Без покрытия	54,2	54,7	53,5	53,4	48,1	48,3
Напыление из нержавеющей стали	50,3	50,8	49,0	49,2	42,0	42,4
Напыление из оксида титана	47,9	48,2	46,2	46,4	39,8	39,9
Обработка плазмой	49,0	49,1	46,9	47,1	39,4	39,5
Спиралевидная навивка	75,1	75,5	71,5	71,7	62,2	62,4
Навивка периодического профиля	124,7	124,9	118,7	119,0	103,3	103,6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования:

1. Анализ литературных источников подтвердил, что в строительном материаловедении накоплен огромный теоретический и практический материал в 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 арматурного стержня из бетона.

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-Д0 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 (Приложение 1)).

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 (Приложение 2)).

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 (Приложение 3)).

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 кольматации 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.

Библиографический список

1. Стройиндустрия и промышленность строительных материалов: энциклопедия / К.В. Михайлов (гл. ред.) [и др.]. – М.: Стройиздат, 1996. – 295 с.
2. Степанова, В.Ф. Арматура неметаллическая композитная / В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов, Е.П. Жирков. – М.: Изд-во ОАО «ЦПП», 2013. – 200 с.
3. Буров, А.К. Синтетические волокнистые анизотропные структуры / А.К. Буров, Г.Д. Андреевская. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 199 с.
4. Михайлов, К.В. Предварительно напряженный железобетон: по материалам IX Конгресса ФИП / К.В. Михайлов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1986. – 280 с.
5. Мощанский, Н.А. О стойкости стеклопластиковой арматуры в бетоне / Н.А. Мощанский // Бетон и железобетон. – 1965. – № 9. – С. 33-34.
6. Берг, О.Я. Некоторые особенности процесса разрушения стеклокомпозитной арматуры / О.Я. Берг, Ю.М. Нагевич // Бетон и железобетон. – 1965. – № 9. – С. 34-36.
7. Ахвердов, И.Н. Круглая стеклопластиковая арматура для армобетонных напорных труб / И.Н. Ахвердов // Бетон и железобетон. – 1965. – № 9.
8. Разработка и исследование клееных деревянных и фанерных армированных конструкций / Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Ю.М. Иванова. – Труды/ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, М. – 1972. – Вып. 24. – 135 с.
9. Фролов, Н.П. Технология изготовления стеклопластиковой арматуры и некоторые ее свойства / Н.П. Фролов // Бетон и железобетон. – 1965. – № 9. – С. 5-8.
10. Фролов, Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции / Н.П. Фролов. – М.: Стройиздат, 1980. – 104 с.

11. Фролов, Н.П. Разработка оптимального технологического режима производства стеклопластиковой арматуры / Н.П. Фролов, Ю.В. Кондратьева, И.С. Скорынина // Симпозиум по стеклопластиковой арматуре. – Минск, 1974.
12. Андреевская, Г.Д. Высокопрочные ориентированные стеклопластики / Г.Д. Андреевская. – М.: Наука, 1966. – 370 с.
13. Вильдавский, Ю.М. Исследование физико-механических свойств стеклопластиковой арматуры и некоторые особенности ее работы в изгибаемых элементах: диссертация к.т.н. М. НИИЖБ. 1969.
14. Асланова, Л.Г. Условия применения стеклопластиковой арматуры в изгибаемых бетонно-полимерных конструкциях электросетевого строительства: диссертация к.т.н. М. НИИЖБ. 1983.
15. Жаврид, С.С. Исследование противокоррозионной стойкости стеклопластиковой арматуры для бетонных конструкций: диссертация к.т.н. Минск. 1968.
16. Кузнецова, Л.Г. Повышение стойкости стеклопластиковой арматуры / Л.Г. Кузнецова [и др.] // Бетон и железобетон. – 1973. – № 3. – С. 30-31.
17. Жаврид, С.С. Применение стеклопластиковой арматуры в бетонных конструкциях при воздействии кислых агрессивных сред и солей / С.С. Жаврид, П.Е. Башлаков // Строительство и архитектуры Белоруссии. – 1972. – № 1.
18. Степанова, В.Ф. Арматура композитная полимерная / В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов, Е.П. Жирков. – М.: ООО «Бумажник», 2013. – 200 с.
19. Уманский, А.М. Перспективы применения композитной арматуры / А.М. Уманский, А.Т. Беккер // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2012. – № 2 (11). – С. 7-13.
20. Степанова, В.Ф. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций / В.Ф. Степанова, В.Р. Фаликман // Научные труды 3-ей всероссийской (2-ой Международной)

конференции по бетону и железобетону. – Москва: РАН, 2014. – Том 3. – С. 430-444.

21. Степанова, В.Ф. Арматура композитная полимерная: сборник технической информации «Наука – московскому строительству» / В.Ф. Степанова, Г.М. Красовская. – Москва. – 2002. – № 2.

22. Польский, П.П. Композитные материалы – как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений / П.П. Польский, Д.Р. Майлян // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4-2. – С. 162.

23. Степанова, В.Ф. Гибридная композитная арматура с повышенным модулем упругости / В.Ф. Степанова, Д.А. Ильин, А.В. Бучкин // Естественные и технические науки. – 2014. – № 9-10. – С. 435-437.

24. Степанова, В.Ф. Перспективы использования неметаллической композитной арматуры в строительстве / В.Ф. Степанова [и др.] // Коррозия: материалы, защита. – 2009. – № 4. – С. 14-17.

25. Степанова, В.Ф. Композитная неметаллическая арматура для строительных конструкций / В.Ф. Степанова [и др.] // Коррозия: материалы, защита. – 2006. – № 5. – С. 42-46.

26. Пат. № 2417889 Российская Федерация, МПК В29С55/00, Е04С5/07. Технологическая линия для изготовления композитной арматуры / А.С. Шахов, С.В. Шахов, С.И. Шабалин, С.И. Шабалин, Е.В. Лялин, В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Коммерческое научно-производственное объединение «Уральская армирующая компания»; заявл. 01.02.2010; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 13.

27. Пат. № 2436910 Российская Федерация, МПК Е04С5/07. Арматура композитная / А.С. Шахов, С.В. Шахов, С.И. Шабалин, С.И. Шабалин, Е.В. Лялин, В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Коммерческое научно-производственное объединение «Уральская армирующая компания»; заявл. 01.02.2010; опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35.

28. Пат. № 2431026 Российская Федерация, МПК E04C5/07. Композитный арматурный элемент / А.С. Шахов, С.В. Шахов, С.И. Шабалин, С.И. Шабалин, Е.В. Лялин, В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Коммерческое научно-производственное объединение «Уральская армирующая компания»; заявл. 25.03.2010; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 28.

29. Степанова, В.Ф. Неметаллическая композитная арматура для зданий и дорожно-транспортных сооружений повышенной долговечности / В.Ф. Степанова // Коррозия: материалы, защита. – 2011. – № 8. – С. 18-19.

30. Степанова, В.Ф. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций / В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 1. – С. 45-47.

31. Римшин, В.И. Феноменологические исследования величины сцепления базальтопластиковой арматуры с бетоном / В.И. Римшин, Ю.О. Кустикова // Известия Юго-западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2001. – № 1. – С. 27-31.

32. Кустикова, Ю.О. О методике проведения эксперимента балочных конструкций / Ю.О. Кустикова, В.И. Римшин // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей IV Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2005. – С. 105-106.

33. Римшин, В.И. О нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры / В.И. Римшин, С.И. Меркулов // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 5. – С. 22-26.

34. Римшин, В.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой / В.И. Римшин, С.И. Меркулов // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 5. – С. 38-42.

35. Степанов, А.Ю. Напряженно-деформированное состояние конструкций зданий и сооружений, армированных композитной полимерной арматурой при сейсмическом воздействии / А.Ю. Степанов, В.И. Римшин // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 1 (57). – С. 57-61.
36. Кустикова, Ю.О. Практические рекомендации и техникоэкономическое обоснование применения композитной арматуры в железобетонных конструкциях зданий и сооружений / Ю.О. Кустикова, В.И. Римшин, И.Л. Шубин // Жилищное строительство. – 2014. – № 7. – С. 14-18.
37. Федосов, С.В. Арматура в производстве железобетона / С.В. Федосов, Г.В. Серегин. – Иваново: ИГАСА, 2003. – 107 с.
38. Федосов, С.В. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки / С.В. Федосов [и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 6 (372). – С. 268-276.
39. Федосов, С.В. Жидкостная коррозия бетонов в среде с различной степенью агрессивности / С.В. Федосов [и др.] // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 4 (63). – С. 113-118.
40. Федосов, С.В. Скорость проникновения хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры в гидрофобизированных бетонах / С.В. Федосов [и др.] // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2018. – № 4 (56). – С. 93-98.
41. Федосов, С.В. Управление процессами коррозионной деструкции железобетона в условиях хлоридной агрессии / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: сборник научных трудов РААСН. Т. 2. – М.: Издательство АСВ, 2018. – С. 480-486.

42. 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. – № 1-2. – С. 124-127.

43. Румянцева, В.Е. Механическое воздействие на бетон в железобетонных элементах, армированных стекловолоконной композитной арматурой / В.Е.Румянцева, И.В. Караваев // Информационная среда вуза: материалы XXIII Международной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2016. – С. 106-109.

44. Караваев, И.В. Исследование влияния покрытия на анкерровку композитной арматуры в бетоне / И.В. Караваев, В.Е. Румянцева, В.И. Караваев // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции. – Белгород: АПНИ, 2015. – Ч. 2. – С. 84-87.

45. Румянцева, В.Е. Долговечность цементных бетонов, армированных композитной и стальной арматурой / В.Е. Румянцева [и др.] // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Саранск, Изд-во Мордовского университета, 2018. – С. 147-153.

46. 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. – С. 115-117.

47. Овчинников, И.И. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Опыт применения полимерных композитных материалов в мостостроении / И.И. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015 – Т. 7. – № 5 (30). – С. 151.

48. Овчинников, И.И. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве / И.И.

Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016 – Т. 8. – № 6. – С. 89.

49. Овчинников, И.И. О нормативных документах по применению полимерных композиционных материалов для пешеходных ограждений в транспортном строительстве / И.И. Овчинников [и др.] // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2017. – № 1 (8). – С. 354-359.

50. Овчинников, И.И. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 1. Отечественные эксперименты при статическом нагружении / И.И. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016 – Т. 8. – № 3 (34). – С. 131.

51. Овчинников, И.И. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 2. Влияние температуры / И.И. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016 – Т. 8. – № 4 (35). – С. 1.

52. Овчинников, И.И. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 3. Влияние циклического нагружения / И.И. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016 – Т. 8. – № 5 (36). – С. 89.

53. Степанов, А.Ю. Арматура композитная полимерная и сейсмостойкость сооружений / А.Ю. Степанов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2014. – № 3 (182). – С. 12-13.

54. Беккер, А.Т. Перспективы применения композитной арматуры / А.Т. Беккер, А.М. Уманский // Вологдинские чтения. – 2012. – № 80. – С. 23-25.

55. Беккер, А.Т. К вопросу о развитии нанотехнологий производства строительных композитов в условиях рынка Дальневосточного региона России / А.Т. Беккер, Н.В. Макарова // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2010. – № 1 (3). – С. 30-44.

56. Беккер, А.Т. Применение базальтопластиковой арматуры в конструкциях морских гидротехнических сооружений / А.Т. Беккер, А.М. Уманский // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2016. – Т. 282. – С. 61-75.

57. Хозин, В.Г. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном / В.Г. Хозин [и др.] // Известия КГАСУ. – 2013. – № 1 (23). – С. 214-220.

58. Гиздатуллин, А.Р. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями / А.Р. Гиздатуллин [и др.] // Инженерно-строительный журнал. – 2016. – № 2 (62). – С. 32-41.

59. Хозин, В.Г. Полимеркомпозитная арматура в сборных дорожных плитах / В.Г. Хозин, А.Р. Гиздатуллин, А.Н. Куклин // Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве: сборник докладов научно-технической конференции. – Ижевск: ИжГТУ, 2015. – С. 14-24.

60. Пухаренко, Ю.В. Проектирование составов полиармированных фибробетонов / Ю.В. Пухаренко [и др.] // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 3 (68). – С. 118-122.

61. Morozov, V.I. The numerical investigations of double-span concrete beams strengthened with fiber reinforced plastics across the oblique section / I.V. Morozov, Yu.V. Pukhareno, A.V. Yushin // Materials physics and mechanics. – 2017. – Vol. 31. – No. 1-2. – Pp. 40-43.

62. Хежев, Х.А. Гипсобетонные композиты, армированные базальтовыми волокнами / Х.А. Хежев, Ю.В. Пухаренко // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 2 (37). – С. 152-156.

63. Низина, Т.А. Влияние минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики цементных композитов / Т.А. Низина, А.В. Балбалин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 2 (35). – С. 148-153.

64. Кисляков, П.А. Наномодифицированные эпоксидные композиты строительного назначения / П.А. Кисляков, Т.А. Низина // Перспективные материалы. – 2010. – № 9. – С. 113-116.

65. Низина, Т.А. Климатическая стойкость композиционных строительных материалов в натуральных условиях эксплуатации / Т.А. Низина [и др.] // Фундаментальны и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях: проблемы и перспективы: сборник докладов II Всероссийской научно-технической конференции. – ФГУП ВИАМ, 2015. – 1 с.

66. Селяев, В.П. Полимербетоны / В.П. Селяев, Ю.Г. Иващенко, Т.А. Низина. – Изд-во: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2016. – 284 с.

67. Зиновьев, П.А. Оптимальное проектирование композитных материалов / П.А. Зиновьев, А.А. Смердов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 103 с.

68. Старовойтова, И.А. Одноосно ориентированные армированные пластики: анализ состояния, проблемы и перспективы развития / И.А. Старовойтова [и др.] // Известия КГАСУ. Строительные материалы и изделия. – 2012. – № 4 (22). – С. 332-338.

69. Николаев, В.Н. Применение композитной полимерной арматуры для опор контактной сети с анкерным креплением на фундаментах / В.Н. Николаев, В.Ф. Степанова // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 7. – С. 79-84.

70. Богатина, А.Ю. Конструкционные фибробетоны со стеклопластиковой стержневой арматурой в транспортном строительстве / А.Ю. Богатина, Л.В. Моргун, В.Н. Моргун // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 4. – С. 92-98.

71. Моргун, В.Н. Применение арматуры в изделиях из фибропенобетонов / В.Н. Моргун, Л.В. Моргун, А.В. Виснап // Строительные материалы. – 2015. – № 7. – С. 52-54.

72. Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой (Р-16-78). НИИЖБ и ИСиА. – М, 1976. – 21 с.
73. Москвин, В.М. Коррозия бетона / В.М. Москвин. – М.: Госстройиздат, 1952. – 342 с.
74. Бабушкин, В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона / В.И. Бабушкин. – М.: Стройиздат, 1968. – 187 с.
75. Мощанский, Н.А. Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред / Н.А. Мощанский. – М.: Госстройиздат, 1962. – 89 с.
76. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]; Под общ. ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
77. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
78. Алексеев, С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне / С.Н. Алексеев. – М.: Госстройиздат, 1962. – 186 с.
79. Артамонов, В.С. Защита железобетона от коррозии / В.С. Артамонов. – М.: Стройиздат, 1967. – 128 с.
80. Элсаед, Т.А. Свойства изготовленных в местном производстве полимерных стержней, армированных гибридным волокном / Т.А. Элсаед [и др.] // Известия КГАСУ. – 2009. – № 1 (11). – С. 247-255.
81. Леонович, С.Н. Модели периода инициирования коррозии арматуры / С.Н. Леонович, А.В. Прасол // Строительные материалы. – 2012. – № 9. – С. 74-75.
82. Блазнов, А.Н. Прогнозирование прочности композитных стержней в условиях воздействия щелочной среды / А.Н. Блазнов, В.Ф. Савин, А.А. Краснов // Южно-сибирский научный вестник. – 2014. – № 4 (8). – С. 12-14.

83. Окольников, Г.Э. Перспективы использования композитной арматуры в строительстве / Г.Э. Окольников, С.В. Герасимов // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 14-21.

84. Опыт использования композитных полимерных материалов в мостостроении / под ред. Ю.М. Митрофанова // Мостостроение мира. – 2000. – № 2. – С. 3-48.

85. Власенко, Ф.С. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях / Ф.С. Власенко, А.Е. Раскутин // Труды ВИАМ. – 2013. – № 8. – С. 3.

86. Вдовин, Е.А. Опыт применения полимеркомпозитной арматуры при строительстве бетонных аэродромных покрытий в аэропортовом комплексе г. Казань / Е.А. Вдовин [и др.] // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сборник докладов международной научно-практической конференции. – Белгород, 2013. – С. 86-90.

87. Цена дороги: новые горизонты республики // Стройэкспертиза. – 2012. – сентябрь (№ 7). – С. 17-20.

88. Гиздатуллин, А.Р. Совместная работа полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / А.Р. Гиздатуллин. – Казань, 2018. – 190 с.

89. Ильин, Д.А. Композитная арматура на основе стеклянных и углеродных волокон для бетонных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Д.А. Ильин. – Москва, 2017. – 141 с.

90. Степанова, В.Ф. Особенности разрушения гибридной композитной арматуры при осевом растяжении / В.Ф. Степанова, А.В. Бучкин, Д.А. Ильин // Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве: сборник материалов Второй научно-технической конференции. – Ижевск: Проект, 2016. – С. 17-23.

91. Степанова, В.Ф. Гибридная композитная арматура с повышенным модулем упругости / В.Ф. Степанова, Д.А. Ильин, А.В. Бучкин // Естественные и технические науки. – 2014. – № 9-10 (77). – С. 435-437.

92. Скудра, А.М. Структурная теория армированных пластиков / А.М. Скудра, Ф.Я. Булавс. – Рига: Зинатне, 1978. – 192 с.

93. Климов, Ю.А. Экспериментальные исследования сцепления композитной неметаллической арматуры с бетоном / Ю.А. Климов, О.С. Солдатченко, Д.А. Орешкин // Научно-технический сборник. – 2010. – № 42. – С. 168-175.

94. Бондаренко, В.М. Железобетонные и каменные конструкции / В.М. Бондаренко [и др.]. – М.: Высшая школа, 2010. – 875 с.

95. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции: Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.

96. Усачев, А.М. Оценка механических свойств полимерной композиционной арматуры / А.М. Усачев, А.М. Хорохордин, М.М. Абдурашидов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2014. – № 1 (8). – С.16-20.

97. Кустикова, Ю.О. Напряженно-деформированное состояние сцепления базальтопластиковой арматуры с бетоном: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Ю.О. Кустикова. – Москва, 2014. – 184 с.

98. Кудзис, А.П. Железобетонные и каменные конструкции (Часть 1. Материалы, конструирование, теория и расчет) / А.П. Кудзис. – М.: Высшая школа, 1988. – 286 с.

99. Руф, Л.В. Исследование анкеровки семипроволочных прядей / Л.В. Руф // Бетон и железобетон. – 1963. – № 9. – С. 410-413.

100. Галкин, И.С. О влиянии конструкции арматурного каната на его сцепление с бетоном / И.С. Галкин // Новые виды арматуры: сборник. – М.: Стройиздат, 1964. – С.78-97.

101. Бенин, А.В. Экспериментальные исследования сцепления композитной арматуры с плоской навивкой с бетоном / А.В. Бенин, С.С. Семенов // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 9. – С. 74-76.

102. Бенин, А.В. Математическое моделирование процесса разрушения сцепления бетона с арматурой. Часть 1. Модели с учётом несплошности соединения / А.В. Бенин [и др.] // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 5. – С. 86-99.

103. Романюк, И.Д. Влияние обжата бетона на длину зоны анкеровки семипроволочных прядей / И.Д. Романюк, И.Ц. Беринский // Вопросы современного строительства. – Львов, 1973. – С. 107-109.

104. Зак, А.Ф. Физико-химические свойства стеклянного волокна / А.Ф. Зак. – М.: Ростехиздат, 1962. – 224 с.

105. Волчок, Д. Что такое композитная арматура? / Д. Волчок // Кирпич. – 2012. – № 5 (5). – С. 6-11.

106. Лапшинов, А.Е. Перспективы применения неметаллической композитной арматуры в качестве рабочей ненапрягаемой в сжатых элементах / А.Е. Лапшинов // Вестник МГСУ. – 2015. – № 10. – С. 96-105.

107. Степанова, В.Ф. Перспективы применения композитов в производстве бетона и железобетона / В.Ф. Степанова // Технологии бетонов. – 2015. – № 9-10. – С 8-9.

108. Лапшинов, А.Е. Исследование работы СПА и БПА на сжатие / А.Е. Лапшинов // Вестник МГСУ. – 2014. – № 1. – С. 52-57.

109. Блазнов, А.Н. Исследование прочности устойчивости однонаправленных стеклопластиковых стержней при осевом сжатии / А.Н. Блазнов [и др.] // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2007. – Т. 13. – № 3. – С. 426-440.

110. Савин, В.Ф. Метод построения силовых зависимостей долговечности для стержней из полимерных композиционных материалов / В.Ф. Савин [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – Т. 74. – № 8. – С. 58-62.

111. Савин, В.Ф. Усталостная прочность и выносливость стержней из композиционных материалов / В.Ф. Савин [и др.] // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2008. – Т. 14. – № 3. – С. 332-352.

112. Попов, Н.Н. Железобетонные и каменные конструкции / Н.Н. Попов. – М.: Высшая школа, 1996. – 255 с.

113. Римшин, В.И. Механика деформирования и разрушения усиленных железобетонных конструкций / В.И. Римшин, Ю.О. Кустикова // Известия ОрелГТУ. Серия: Строительство. Транспорт. – 2007. – № 3-15. – С. 53-56.

114. Линович, Л.Е. Расчет и конструирование частей гражданских зданий / Л.Е. Линович. – Киев: Будівельник, 1972. – 644 с.

115. Ребиндер, П.А. Понижение прочности поверхностного слоя твердых тел при адсорбции поверхностно-активных веществ / П.А. Ребиндер, А.В. Калиновская // ЖТФ. – 1932. – № 2.

116. Зак, А.Ф. Прочность и деформации стеклянного волокна при высоких температурах / А.Ф. Зак, Ю.П. Манько // Труды/ВНИИСВ. – 1953. – № 4.

117. Вязьмитинов, И.В. Результаты исследований ослабления энергии электромагнитных волн оптически непрозрачными преградами / И.В. Вязьмитинов, Е.И. Мирошниченко, О.В. Сытник // Радиофизика и электроника. – 2007. – Т. 12. – № 2. – С. 426-434.

118. Коваленко, Н.А. Математическая модель искажения зондирующих сигналов в системах контроля местоположения людей за непрозрачной преградой / Н.А. Коваленко, В.Д. Сахацкий // Вестник Национального

технического университета Харьковский политехнический институт. Серия Информатика и моделирование. – 2013. – № 39. – С. 104-114.

119. Худяков, В.А. Современные композиционные материалы / В.А. Худяков, А.П. Прошин, С.Н. Кислицына. – М.: АСВ, 2006. – 144 с.

120. Селезнев, В.А. Прочность полимерной композитной арматуры / В.А. Селезнев [и др.] // Потенциал современной науки. – 2016. – № 4 (21). – С. 74-79.

121. Филин, А.П. Исследование работы элементов конструкций, армированных неметаллической арматурой / А.П. Филин [и др.]. – Л.: Институт инженеров железнодорожного транспорта, 1967. – 59 с.

122. Михайлов, К.В. Перспективы применения неметаллической арматуры в преднапряженных бетонных конструкциях / К.В. Михайлов // Бетон и железобетон. – 2003. – № 5. – С. 29-30.

123. Клементьев, А.О. Обзор литературы по применению в железобетонных пролетных строениях мостов неметаллической композитной арматуры / А.О. Клементьев, М.Н. Смердов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 4 (20). – С. 74-80.

124. Гиль, А.И. Стеклопластиковая и углепластиковая арматура в строительстве: преимущества, недостатки, перспективы применения / А.И. Гиль, Е.Н. Бадалова, Е.Д. Лазовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки. – 2015. – № 16. – С. 48-53.

125. Шилов, А.В. Инновационные методы армирования сборных конструкций из железобетона углеволоконными сетками / А.В. Шилов // Инженерный вестник Дона. – 2016. – Т. 40. – № 1 (40). – С. 59.

126. Зеленский, Э.С. Армированные пластики – современные конструкционные материалы / Э.С. Зеленский [и др.] // Российский химический журнал. – 2001. – Т. XLV. – № 2. – С. 56-74.

127. Теплова, Ж.С. Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций / Ж.С. Теплова, С.С. Киски, Я.Н. Стрижакова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 9 (24). – С. 49-63.

128. Матвеева, О.И. Цементобетонные покрытия с композитным армированием для автомобильных дорог, эксплуатируемых в климатических условиях Якутии / О.И. Матвеева [и др.] // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (2-й международной) конференции. – Москва: РАН, 2014. – Т. 3. – С. 85-96.

129. Мозговой, В.В. Особенности проектирования нежесткой дорожной одежды с применением армированных асфальтобетонных слоев автомобильных дорог Украины / В.В. Мозговой [и др.] // Вестник КГУСТА. – 2016. – № 1 (51). – С. 107-113.

130. Пат. № 60536 Российская Федерация, МПК E01C7/32. Дорожное покрытие для тротуара бетонного моста / А.В. Илюшкин; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Автогрейд»; заявл. 08.11.2006; опубл. 27.01.2007.

131. Дегтярь, А.А. Применение композитной арматуры в дорожном строительстве / А.А. Дегтярь [и др.] // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2014. – № 1. – С. 403-408.

132. Поляков, В.А. Контактная задача для балок из композитных материалов / В.А. Поляков, И.Г. Жигун // Механика полимеров. – 1977. – № 1. – С. 63-74.

133. Байков, А.А. О действии морской воды на сооружения из гидравлических растворов / А.А. Байков // Собрание трудов. – М.: Изд. АН СССР. – 1948. – Т.V. – 210 с.

134. Бутт, Ю.М. Практикум по технологии вяжущих веществ и изделий из них / Ю.М. Бутт. – М.: Госстройиздат, 1953. – 259 с.

135. Мчедлов-Петросян, О.П. Контроль твердения цементов и бетонов / О.П. Мчедлов-Петросян, Г.А. Салоп, Я.Й. Сидорович. – М.: Стройиздат, 1969. – 104 с.

136. Мчедлов-Петросян, О.П. Химия неорганических строительных материалов / О.П. Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1988. – 303 с.

137. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2002. – 500 с.

138. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства) / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.

139. Терминологический словарь по бетону и железобетону / Под общей редакцией К.В. Михайлова, Б.А. Крылова, А.М. Подвальнова [и др.] – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2007. – 111 с.

140. Москвин, В.М. Коррозия бетона при действии щелочей цемента на кремнезем заполнителя / В.М. Москвин, Г.С. Рояк. – М.: Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. – 210 с.

141. Федосов, С.В. О некоторых проблемах теории и математического моделирования процессов коррозии бетона / С.В. Федосов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 5. – С. 20-21.

142. Полак, А.Ф. Обобщенная математическая модель коррозии бетона в агрессивных жидких средах / А.Ф. Полак [и др.] // Бетон и железобетон. – 1981. – № 9. – С. 44-45.

143. Гусев, Б.В. Построение математической теории процессов коррозии бетона / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович // Строительные материалы. – 2008. – № 3. – С. 38-41.

144. Хрунов, В.А. Об особенностях расчета процессов коррозии бетона I вида по диффузионной модели / В.А. Хрунов // V научная

конференция аспирантов и соискателей: материалы конференции. – Иваново: ИГАСУ, 2007. – С. 101-103.

145. Касьяненко, Н.С. Об особенностях расчета процессов коррозии бетона II вида по диффузионной модели / Н.С. Касьяненко // V научная конференция аспирантов и соискателей: материалы конференции. – Иваново: ИГАСУ, 2007. – С. 115.

146. Смельцов, В.Л. Решение задачи диффузии для процессов коррозии бетона первого вида. Частный случай – малое время процесса / В.Л. Смельцов // V научная конференция аспирантов и соискателей: материалы конференции. – Иваново: ИГАСУ, 2007. – С. 92-94.

147. Федосов, С.В. Применение методов математической физики для моделирования массо- и энергопереноса в строительной индустрии / С.В. Федосов, А.М. Ибрагимов, А.В. Гущин // Строительные материалы. – 2008. – № 4. – С. 65-68.

148. Шуляченко, А.Р. Действие морской воды на цементы и влияние его на прочность морских сооружений / А.Р. Шуляченко // Зодчий. – 1902. – № 8. – 14 с.

149. Чарномский, В.К. О действии морской воды на сооружения из гидравлических растворов в портах Западной Европы и в Южнорусских портах / В.И. Чарномский, А.А. Байков // Труды отдела торговых портов. – 1907. – 58 с.

150. Москвин, В.М. Бетон для морских гидротехнических сооружений / В.М. Москвин. – М.: Машстройиздат, 1949. – 102 с.

151. Кинд, В.В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях / В.В. Кинд. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 320 с.

152. Печко, Э.Н. Учет влияния морской среды при проектировании причальных сооружений из железобетона в южных морях / Э.Н. Печко // Строительная климатология: тезисы докладов симпозиума. – М., 1982. – С. 271-277.

153. Шалимо, М.А. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии / М.А. Шалимо. – Минск: Высшая школа, 1986. – 200 с.

154. Чикичев, А.А. Гидрофобизация строительных растворов добавками на основе полимерного остатка / А.А. Чикичев, С.А. Белых // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – № 3 (27). – С. 113-117.

155. Добавки в бетон / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди [и др.] Под ред. В.С. Рамачандрана; Пер с англ. Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева; Под ред. А.С. Болдырева и В.Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.

156. Семенов, А.А. Ситуация на Российском рынке цемента: развитие производственной базы, перспективы, проблемы / А.А. Семенов // Строительные материалы. – 2011. – № 3. – С. 60-62.

157. Фежделюк, Д. Для развития экономики России в условиях ВТО крайне нужна ускоренная модернизация цементных заводов / Д. Фежделюк [и др.] // Строительная газета. – 5 октября 2012. – № 40.

158. Румянцева, В.Е. Экспериментальные исследования процессов массопереноса при жидкостной коррозии цементных бетонов / В.Е. Румянцева [и др.] // Приволжский научный журнал. – 2010. – № 1. – С. 39-45.

159. Пат. № 71164 Российская Федерация, МПК G01N 15/08 (2006.01). Прибор для исследования процессов коррозии строительных материалов / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.Л. Федосова, Ю.А. Щепочкина, В.А. Хрунов, В.Л. Смельцов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Ивановский государственный архитектурно-строительный университет; заявл. 29.10.07; опубл. 27.02.08, Бюл. № 6.

160. Хрунов, В.А. Исследование массообменных процессов при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / В.А. Хрунов. – Иваново: ИГАСУ, 2008. – 140 с.

161. Крешков, А.П. Основы аналитической химии. Том 2. Теоретические основы. Количественный анализ / А.П. Крешков. – М.: Химия, 1971. – 456 с.
162. Лукомский, Ю.Я. Физико-химические основы электрохимии / Ю.Я. Лукомский, Ю.Д. Гамбург. – Долгопрудный: Издательский дом Интеллект, 2008. – 424 с.
163. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
164. Болотских, О. Европейские методы физико-механических испытаний бетона / О. Болотских. – Харьков: ТОРНАДО, 2010. – 144 с.
165. Попов, К.Н. Оценка качества строительных материалов / К.Н. Попов, М.Б. Каддо, А.В. Кульков. – М.: Высшая школа, 2004. – 288 с.
166. Попов, К.Н. Физико-механические испытания строительных материалов / К.Н. Попов, И.К. Шмурнов. – М.: Высшая школа, 1989. – 238 с.
167. Пат. № 2187804 Российская Федерация, МПК G01N33/38. Способ определения водонепроницаемости цементных материалов / А.И. Марков; заявитель и патентообладатель Государственное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений»; заявл. 05.03.2001; опубл. 20.08.2002.
168. Китайгородский, А.И. Рентгеноструктурный анализ / А.И. Китайгородский. – М.: Гостехиздат, 1950. – 651 с.
169. Бокий, Г.Б. Рентгеноструктурный анализ / Г.Б. Бокий, М.А. Порай-Кошиц. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1964. – Т. 1. – 492 с.
170. <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/index.php> дата обращения: 13.04.2019.
171. Федосов, С.В. Сульфатная коррозия бетона / С.В. Федосов, С.М. Базанов. – М.: АСВ, 2003. – 192 с.

172. Зоткин, А.Г. Бетоны с эффективными добавками / А.Г. Зоткин. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 160 с.

173. Федосов, С.В. Моделирование массопереноса в процессах жидкостной коррозии бетона I вида / С.В. Федосов [и др.] // Строительные материалы. – 2005. – № 7. – С. 60-62.

174. Федосов, С.В. Моделирование массопереноса в процессах коррозии бетонов первого вида (малые значения числа Фурье) / С.В. Федосов [и др.] // Строительные материалы. – 2007. – № 5. – С. 70-71.

175. Федосов, С.В. Математическое моделирование массопереноса в процессах коррозии бетона второго вида / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.С. Касьяненко // Строительные материалы. – 2008. – № 7. – С. 35-39.

176. Румянцева, В.Е. Математическое моделирование массопереноса, лимитированного внутренней диффузией в процессах коррозии бетона первого и второго видов / В.Е. Румянцева // Строительные материалы. – 2009. – № 2. – С. 22-25.

177. Федосов, С.В. Массоперенос гидроксида кальция в процессах коррозии бетона второго вида / С.В. Федосов [и др.] // Ученые записки инженерно-строительного факультета. – Иваново: ИГАСУ, 2008. – С. 28-32.

178. Федосов, С.В. О некоторых проблемах математического моделирования жидкостной коррозии бетона второго вида / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.С. Касьяненко // Вестник отделения строительных наук. – М.: Орел, 2009. – Вып. 13. – С. 93-101.

179. Касьяненко, Н.С. Процессы массопереноса при жидкостной коррозии второго вида цементных бетонов: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Н.С. Касьяненко. – Иваново, 2010. – 156 с.

180. Румянцева, В.Е. Коррозия бетона: Причины, последствия, способы предотвращения / В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, М.Е. Шестеркин // Информационная среда вуза: материалы XXI

Международной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2014. – С. 642-647.

181. Федосов, С.В. Этапы математического моделирования процессов массопереноса при коррозии I и II видов / С.В. Федосов [и др.] // I Академические чтения «Актуальные проблемы бетона и железобетона. Материалы и конструкции. Расчет и проектирование»: материалы научно-практической конференции. – Ростов н/Д: РГСУ, 2010. – С. 69-71.

182. Федосов, С.В. Экспериментальные и теоретические исследования процессов массопереноса при коррозии II вида цементных бетонов в жидких агрессивных средах / С.В. Федосов [и др.] // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе: сборник научных статей Первых Международных Лыковских научных чтений, посвящённых 105-летию академика А.В. Лыкова. – М: Москва, 2015. – С. 281-283.

183. Румянцева, В.Е. Научные основы закономерностей массопереноса в процессах жидкостной коррозии строительных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.13 / В.Е. Румянцева. – Иваново, 2011. – 444 с.

184. Шестеркин, М.Е. Массообменные процессы при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов с учетом влияния свойств портландцемента: дис.... канд. техн. наук: 05.02.13 / М.Е. Шестеркин. – Иваново, 2015. – 181 с.

185. Красильников, И.В. Исследование процессов массопереноса при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов с учетом действия внутренних источников массы: дис.... канд. техн. наук: 05.02.13 / И.В. Красильников. – Иваново, 2016. – 162 с.

186. Румянцева, В.Е. Коррозия бетона с гидрофобизирующими добавками / В.Е. Румянцева [и др.] // 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.

187. Румянцева, В.Е. Влияние агрессивных сред на изменение структурно-фазового состава цементных бетонов и их прочностные характеристики / В.Е. Румянцева [и др.] // Информационная среда вуза: материалы XXIII Международной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2016. – С. 372-376.

188. Румянцева, В.Е. Изменение прочностных характеристик бетонов с гидрофобизирующими добавками при жидкостной коррозии II вида / В.Е. Румянцева [и др.] // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 4-3. – С. 104-107.

189. Жданок, С.А. Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы / С.А. Жданок [и др.] // Вестник Белорусского национального технического университета: научно-технический журнал. – 2009. – № 3. – С. 5-23.

190. Мороз, М.Н. Морозостойкость гидрофобизированных бетонов / М.Н. Мороз, В.И. Калашников, А.В. Петухов // Молодой ученый. – 2014. – № 19. – С. 222-225.

191. Бутт, Ю.М. Технология вяжущих веществ / Ю.М. Бутт, С.Д. Окороков, М.М. Сычев, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1965. – 620 с.

192. Мороз, М.Н. Мелкозернистые бетоны на карбонатно- и глиношлаковых вяжущих, гидрофобизированных стеаратом цинка / М.Н. Мороз, А.В. Петухов, В.И. Калашников // Молодой ученый. – 2014. – № 13. – С. 59-61.

193. Румянцева, В.Е. Ингибирование коррозии железобетонных конструкций / В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, Н.М. Виталова // Строительство и реконструкция. – 2014. – № 4 (54). – С. 65-71.

194. Федосов, С.В. Массоперенос в системе «бетон – агрессивная жидкая фаза», осложненный химической реакцией на границе раздела / С.В. Федосов [и др.] // Вестник отделения строительных наук. – 2011. – Вып. 15. – С. 216-219.

195. Федосова, Н.Л. Экспериментальные исследования процессов массопереноса при жидкостной коррозии цементных бетонов / Н.Л. Федосова [и др.] // Приволжский научный журнал. – 2010. – № 1. – С. 39-45.

196. Коновалова, В.С. Рентгенографический анализ цементного камня / В.С. Коновалова, И.В. Караваев, С.А. Логинова // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК – 2016): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов с международным участием. – Иваново: ИВГПУ, 2016. – С. 98-99.

197. Федосов, С.В. Математическое моделирование процессов коррозии бетона второго вида в жидких агрессивных средах / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.С. Касьяненко // Информационная среда вуза: сборник материалов XV Международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГАСУ, 2008. – С. 796-801.

198. Румянцева, В.Е. Проблемы коррозии бетона и железобетона с позиции математического моделирования / В.Е. Румянцева, С.В. Федосов, В.А. Хрунов // Информационная среда вуза: сборник материалов XV Международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГАСУ, 2008. – С. 302-307.

199. Румянцева, В.Е. Применение математического моделирования при изучении коррозионных процессов цементных бетонов II вида / В.Е. Румянцева [и др.] // Информационная среда вуза: сборник материалов XVII Международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГАСУ, 2010. – С. 533-538.

200. Румянцева, В.Е. О некоторых проблемах математического моделирования массообменных процессов жидкостной коррозии бетонов второго вида / В.Е. Румянцева [и др.] // Информационная среда вуза: сборник материалов XV Международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГАСУ, 2009. – С. 432-436.

201. Федосов, С.В. Массоперенос в процессах жидкостной коррозии второго вида цементных бетонов, контролируемый диффузионно-кинетическим сопротивлением / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.С. Касьяненко // Строительные материалы. – 2011. – № 1. – С. 50-53.

202. Полак, А.Ф. Физико-химические основы коррозии железобетона / А.Ф. Полак. – Уфа: УНИ, 1982. – 73 с.

203. Каюмов, Р.А. Математическое моделирование коррозионного массопереноса гетерогенной системы «жидкая агрессивная среда – цементный бетон». Частные случаи решения / Р.А. Каюмов [и др.] // Известия КГАСУ. – 2013. – № 4 (26). – С. 343-348.

204. Караваев, И.В. Экспериментальные исследования влияния анкеровки арматуры на адгезию в системе «бетон – композитная арматура» / И.В. Караваев, В.И. Караваев // Молодые ученые развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК – 2015): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов с международным участием. – Иваново: ИВГПУ, 2015. – Ч. 2. – С. 270-271.

205. Mallick, P.K. Fiber-Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design. – Taylor&FrancisGroup, LLC, 2007. – 617 p.

206. Cairns, J. Design of concrete structures using fusion-bonded epoxy-coated reinforcement // Proceedings of the Institute of Civil Engineering Structures and Buildings. – 1992. – Vol. 94. – No. 1. – Pp. 93-102.

207. Benmokrane B., Chaallal O., Masmoudi R. Flexural response of concrete beams reinforced with FRP reinforcing bars // ACI Structural Journal. – 1996. – Vol. 93. – No. 1. – Pp. 46-55.

208. Brown V.L., Bartholomew C.L. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members // *ACI Materials Journal*. – 1993. – Vol. 90. – No. 1. – Pp. 34-39.
209. ACI 440.1R-2006. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. Reported by ACI Committee, 2006. – 44 p.
210. Bakis C.E., Nanni A., Terosky J.A., Koehler S.W. Self-monitoring, pseudo-ductile, hybrid FRP reinforcement rods for concrete applications // *Composites Science and Technology*. – 2001. – Vol. 61 – No. 6. – Pp. 815-823.
211. ACI. Guide for the design and construction of externally FRP systems for strengthening concrete structures (ACI 440.2R-2008). American Concrete Institute Committee 440, 2008.
212. Knoell A.C. Basic Concepts in Composite Beam Testing // *Materials Research and Standards*. – 1970. – Vol. 10. – No. 12. – Pp. 16-20.
213. Sagers K.H., Harris B. Interlaminar shear strength of a carbon fibre reinforced composite material under impact conditions // *J. Composite Materials*. – 1973. – Vol. 7. – Pp. 129-132.
214. Nawy E., Neuwerth G. Fiberglass Reinforced Concrete Slabs and Beams // *Journal of the Structural Division*. – 1977. – Vol. 103. – Issue 2. – Pp. 421-440.
215. Kretsis G. A review of the tensile, compressive, flexural and shear properties of hybrid fibre-reinforced plastics // *Composites*. – 1987. – Vol. 18. – No. 1. – Pp. 13-23.
216. Young-Jun You, Hwan Park, Hyeong-Yeol Kim, Ji-Sun Park. Hybrid effect on tensile properties of FRP rods with various material compositions // *Composite Structures*. – 2007. – Vol. 80. – Issue 1. – Pp. 117-122.
217. Tuutti K. Corrosion of Steel in Concrete // Swedish foundation for concrete research. – Stockholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982. – 468 p.
218. Bažant Z.P. Physical model for steel corrosion in concrete sea structures // *ASCE Journal of the Structural Division*. – 1979. – Vol. 105. – Issue 6. – Pp. 1155-1166.

219. Meier U. Carbon Fiber Reinforced Polymers: Modern Materials in Bridge Engineering // Structural Engineering International, Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering. – 1992. – Vol. 2. – No. 1. – Pp. 7-12.

220. Cosenza E., Manfredi G., Realfonzo R. Behavior and modeling of bond of FRP rebars to concrete // Journal of Composites for Construction. – 1997. – Vol. 1. – No. 2. – Pp. 40-51.

221. Baena M., Torres L., Turon A., Barris C. Experimental study of bond behavior between concrete and FRP bars using a pull-out test // Composites. Part B: Engineering. – 2009. – Vol. 40. – No. 8. – Pp. 784-797.

222. Alves J., El-Ragaby A., El-Salakawy E. Durability of GFRP Bars` Bond to Concrete under Different Loading and Environmental Conditions // Journal of Composites for Construction. – 2011. – Vol. 15. – No. 3. – Pp. 249-262.

223. Gustafson D.P., Neff T.L. Epoxy-coated rebar, handled with care // Concrete Construction. – 1994. – Vol. 39. – No. 4. – Pp. 356-369.

224. Bridge Standards and Procedures Manual. – CHBDC S6-06, 2007. – 173 p.

225. Mohamed El-Reedy. Steel-reinforced concrete structures: assessment and repair of corrosion. – Taylor & Francis Group, 2008. – 218 p.

226. ACI 440.1R-15. Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP Bars. – ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich. 2015. – 83 p.

227. Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials // Japan Society of Civil Engineers (JSCE). Concrete Engineering Series. – 1997. – No. 23. – 325 p.

228. Franke L. Behavior and Design of High-Quality Glass-Fiber Composite Rods as Reinforcement for Prestressed Concrete Members // Report, International Symposium. – CP/Ricem/iBk, Prague, 1981. – 52 p.

229. Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks. – HPFRCC, 2008. – 113 p.

230. Hollow composite-material rebar structure, associated components, and fabrication apparatus and methodology WO 2012/039872 publication 29.05.2012.

231. ACI Committee 440. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. – American Concrete Institute. Detroit, Michigan, 1996. – 68 p.

232. Ye L.P., Feng P., Zhang K., Lin L., Hong W.H., Yue Q.R., Zhang N. and Yang T. FRP in Civil Engineering in China: Research and Applications // Proceedings of the Sixth International Symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-6). – Singapore, 2003. – P. 1401.

233. Benmokrane B., El-Salakawy E., El-Ragaby A., Desgagne G. and Lackey T. Design, Construction and Monitoring of Four Innovative Concrete Bridge Decks Using Non-Corrosive FRP Composite Bars // 2004 Annual Conference of the Transportation Association of Canada. – Québec City, Québec, Canada, 2004. – 20 p.

234. Mehta P.K., Monteiro P.J.M., Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. – New York: McGraw-Hill. – 2006. – 683 p.

235. Biczok I. Concrete Corrosion, Concrete Protection. – Akademiai Kiado, Budapest, Weisbaden, 1972. – 436 p.

236. EN 206-1:2000, Concrete – Part 1: Specification, Performance, Production and Conformity. – European Committee for Standardization, 2000.

237. Bertolini L, Elsener B. Corrosion of Steel in Concrete. Prevention, Diagnosis, Repair. – Viernheim: Wiley, 2004. – 394 p.

238. Parrott L.J. Damage caused by carbonation of reinforced concrete // Materials and Structures. – 1990. – Vol. 23. – Issue 3. – Pp. 230-234.

239. Parrot L.J. Steel corrosion in concrete: How does it occur? // Materials Protection. – 1967. – Vol. 6. – No. 11. – Pp. 19-23.

240. Pedferri P., Bertolini L. *La Durabilità del Calcestruzzo Armato*. – McGrawHill: Milano, Italia, 2000. – 199 p.

241. Parrott L.J. Moisture conditioning and transport properties of concrete test specimen // *Materials and Structures*. – 1994. – Vol. 27. – No. 4. – Pp. 460-468.

242. Parrott L.J., Hong C.Z. Some factors influencing air permeation measurements in cover concrete // *Materials and Structures Journal*. – 1991. – Vol. 24. – Issue 6. – Pp. 403-408.

243. Schiessl P. Corrosion of steel in concrete: report of the Technical Committee 60 CSC, RILEM (the International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). – London; New York: Chapman and Hall, 1988. – 102 p.

244. Muzenski S.W., Flores-Vivian I., Sobolev K. The Development of Hydrophobic and Superhydrophobic Cementitious Composites // *Proceedings of the 4th International Conference on the Durability of Concrete Structures 24-26 July 2014*. – Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 2014. – 6 p.

245. Muzenski S., Flores-Vivian I., Sobolev K. Hydrophobic engineered cementitious composites for highway applications // *Cement and Concrete Composites*. – 2015. – Vol. 57. – Pp. 68-74.

246. Flores-Vivian I., Hejazi V., Kozhukhova M.I., Nosonovsky M., Sobolev K. Self-assembling particle-siloxane coatings for superhydrophobic concrete // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2013. – Vol. 5. – No. 24. – Pp. 13284-13294.

247. EN 1504–2. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity, in: Part 2: Surface Materials and Structures protection systems for concretes. – European Committee for Standardization. – Brussels, 2004.

248. Muhammad N.Z., Keyvanfar A., Majid M.Z.A., Shafaghat A., Mirza J. Waterproof performance of concrete: a critical review on implemented approaches // *Construction and Building Materials*. – 2015. – No. 101. – Pp. 80-90.

249. Christodoulou C., Goodier C.I., Austin S.A., Webb J., Glass G.K. Long-term performance of surface impregnation of reinforced concrete structures with silane // *Construction and Building Materials*. – 2013. – No. 48. – Pp. 708-716.

250. Dai J.G., Akira Y., Wittmann F.H., Yokota H., Zhang P. Water repellent surface impregnation for extension of service life of reinforced concrete structures in marine environments: the role of cracks // *Cement and Concrete Composites*. – 2010. – Vol. 32. – No. 2. – Pp. 101-109.

251. Ganesh V.A., Raut H.K., Nair A.S., Ramakrishna S. A review on self-cleaning coatings // *Journal of Materials Chemistry*. – 2012. – Vol. 21. – No. 41. – Pp. 16304-16322.

252. Meier S.J., Wittmann H.F. Recommendations for water repellent surface impregnation of concrete // *Restoration of Buildings and Monuments*. – 2014. – Vol. 17. – No. 6. – Pp. 347-358.

253. Vries I.J.D., Polder R.B. Hydrophobic treatment of concrete // *Construction and Building Materials*. – 1997. – Vol. 11. – No. 4. – Pp. 259-265.

254. Rixom R., Mailvaganam N. Chemical admixtures for concrete. 3rd edition. – E&FN Spon, London, 1999. – 456 p.

255. Edmeades R.M., Hewlett P.C. Cement admixtures, in: P.C. Hewlett (Ed.). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. 4th edition. – Butterworth-Heinemann, 2003. – Pp. 841-905.

256. ACI Committee 212. Chemical admixtures for concrete. ACI 212.3R-10. American Concrete Institute, Farmington Hills, 2010.

257. PUB CS174. The influence of integral water-resisting admixtures on the durability of concrete. – Camberley, 2013. – 36 p.

258. BS EN 934-2. Admixtures for concrete, mortar and grout. Concrete admixtures. Definitions, requirements, conformity, marking and labelling. – British Standards Institution, London, 2009.

259. Wong H.S., Bakarar R., Alhilali A., Saleh M., Cheeseman C.R. Hydrophobic concrete using waste paper sludge ash // *Cement and Concrete Research*. – 2015. – No. 70. – Pp. 9-20.

260. Han B., Zhang L., Ou J. Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures. – Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2017. – 400 p.

261. Diamanti M.V., Brenna A., Bolzoni F., Berra M., Pastore T., Ormellese M. Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 49. – No. 6. – Pp. 720-728.

262. Vipulanandan C., Liu J. Performance of coated concrete in wastewater environment // Proceedings (CD), Pipelines 2004, International Conference, ASCE Pipeline Division. – San Diego, CA, August 2004.

263. Wittmann M., Huang Z., Gerdes A. Application of water repellent treatments for the protection of «offshore» constructions // Hydrophobe IV – 4th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials, 2005. – Pp.145-158.

264. Zhang Z., MacMullen J., Dhakal H.N., Radulovic J., Herodotou C., Totomis M., Bennet N. Enhanced water repellence and thermal insulation of masonry by zinc oxide treatment // Energy and Buildings. – 2012. – Vol. 54. – Pp. 40-46.


265. Woo R.S.C., Zhu H., Chow M.M.K., Leung C.K.Y., Kim J.K. Barrier performance of silane-clay nanocomposite coatings on concrete structure // Composites Science and Technology. – 2008. – Vol. 68. – No. 14. – Pp. 2828-2836.

ПРИЛОЖЕНИЯ



№3-НИР
по теме: научно-исследовательские работы

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор ООО «Базовый инжиниринг»


Моклоков А. Б.

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Настоящим подтверждается, что для уменьшения длины анкеровки композитной арматуры в железобетонных изделиях, используются практические рекомендации, разработанные на кафедре нанотехнологий, физики и химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет».

Применение модифицированной обвивки для выполнения анкерочного слоя композитной арматуры, согласно рекомендациям, представленным в диссертационном исследовании, позволяет уменьшить длину анкеровки, по сравнению с классической обвивкой, на 22-30% в зависимости от диаметра стержня, что позволяет снизить удельный расход арматуры на армирование конструкций на 5-7%. Увеличение расхода жгута из стекловолокна в 1,5 раза компенсируются повышением сцепления арматуры с бетоном на 50 % и увеличением срока безремонтной службы армированного бетонного изделия в 2...5 раз в зависимости от назначения конструкции.

Разработчики: д.т.н., профессор, заведующая кафедрой нанотехнологий, физики и химии Румянцев В.Е., старший преподаватель кафедры нанотехнологий, физики и химии, к.т.н. В.С. Коновалова, соискатель ученой степени кандидата технических наук Караваев И.В. ФГБОУ ВО «ИВГПУ».

Главный инженер
Тел.: 8 (4932) 21-21-34
baseengin@list.ru



Моклоков Алексей Борисович

Общество с ограниченной ответственностью «Базовый инжиниринг»
153005, г. Иваново, ул. Бубнова, д. 40А, эт. 4, e-mail: baseengin@list.ru, тел. 8 (4932) 21-21-34,
ИНН 3702117083 | КПП 370201001 | ОГРН 1153702018744 | ОКПО 55141390



Общество с ограниченной ответственностью «Мераком»
 109316, г. Москва, Волгоградский пр-т, д. 47, оф. 209
 e-mail: merakom@list.ru
 тел.: +7(499) 394-00-14
www.merakom.ru
 ИНН 7721752264 | КПП 772201001
 ОКПО 09109767
 ОКВЭД 74.20
 ОКАТО 45290590000
 ОГРН 1127748164150
 Филиал «Центральный» Банка ВТБ (ПАО):
 р/с 40702810101680000326, к/с 30101810145250000411, БИК 044525411

Исх. №18-н2 от 21.11.2018 г.

Научно-исследовательские работы

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Настоящим подтверждается, что для повышения коррозионной стойкости выпускаемых изделий используются практические рекомендации, разработанные на кафедре нанотехнологий, физики и химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет».

Введение гидрофобизаторов, согласно рекомендациям, представленным в диссертационном исследовании, позволяет повысить коррозионную стойкость бетонов и увеличить срок безремонтной службы бетонных изделий в 1,3...1,5 раз в зависимости от назначения конструкции.

Разработчики: д.т.н., профессор, заведующая кафедрой нанотехнологий, физики и химии Румянцева В.Е., старший преподаватель кафедры нанотехнологий, физики и химии, к.т.н. В.С. Коновалова, соискатель ученой степени кандидата технических наук Караваяв И.В. ФГБОУ ВО «ИВГПУ».

Генеральный директор
 (должность)



Кутовой Сергей Александрович
 (фамилия и инициалы)

МИНИОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ивановский государственный политехнический университет»

УТВЕРЖДАЮ:
Первый проректор -
проректор по развитию
ИВГПУ
Е.Н. Никифорова

«03» декабря 2018 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Караваяева Ивана Васильевича на тему: «Влияние жидких хлоридсодержащих сред на эксплуатационные характеристики гидрофибрированного бетона и стеклокомпозитной арматуры» в учебный процесс

Комиссия ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» в составе:

- проректор по образовательной деятельности, д.т.н., доцент Матрохин А.Ю.;
- начальник учебно-методического управления к.т.н., доцент Дрягина Л.В.;
- и.о. директора института информационных технологий и естественно-гуманитарных наук, советник РААСН, заведующий кафедрой нанотехнологий, физики и химии д.т.н., профессор Румянцева В.Е. составили настоящий акт о том, что результаты научных исследований, представленные в диссертационной работе Караваяева Ивана Васильевича на тему: «Влияние жидких хлоридсодержащих сред на эксплуатационные характеристики гидрофибрированного бетона и стеклокомпозитной арматуры» внедрены в учебный процесс кафедры нанотехнологий, физики и химии ФГБОУ ВО

«ИВГПУ» и применяются при проведении лекционных и лабораторных занятий для обучения бакалавров направления подготовки 08.03.01 «Строительство» по дисциплине: «Коррозия металлов и способы защиты» и магистров 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».

Проректор по образовательной деятельности,
д.т.н., доцент

А.Ю. Матрохин

Начальник учебно-методического
управления

Л.В. Дрягина

И. о. директора ИИТЕГН,
советник РААСН, д.т.н., профессор

В.Е. Румянцева

Заведующий кафедрой НФХ,
советник РААСН, д.т.н., профессор

В.Е. Румянцева

СПИСОК НОРМАТИВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
- ГОСТ 31384-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии.
- ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия.
- ГОСТ 32486-2013. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определений характеристик долговечности.
- ГОСТ 32487-2013. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам.
- ГОСТ 32492-2013. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик.
- СТО НОСТРОЙ 2.6.90-2013. Применение в строительных бетонных и геотехнических конструкциях неметаллической композитной арматуры. Технические рекомендации по применению неметаллической композитной арматуры периодического профиля в бетонных конструкциях. – М.: НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2012. – 7 с.
- СТО-02495307-007-2012. Применение неметаллической композитной арматуры АСП и АБП в бетонных конструкциях. – М.: ООО НПФ «УралСпецАрматура», 2012. – 20 с.
- СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции»
- ТУ 2296-001-37254847-2012. Арматура неметаллическая. Композит. Введ. 2012–1–04. М.: НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2012.
- ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема.

ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.

ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.

ГОСТ 30515-2013. Цементы. Общие технические условия.

ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия.

ГОСТ 6709-72. Вода дистиллированная. Технические условия.

ГОСТ 27677-88. Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний.

ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний.

ГОСТ 12730.0-78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.

ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности.

ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Методы определения водопоглощения.

ГОСТ 12730.4-78. Бетоны. Методы определения показателей пористости.

ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

МИ 2625-2000 РЕКОМЕНДАЦИЯ ГСИ. Материалы цементные. Методика выполнения измерений водонепроницаемости ускоренным методом.

ГОСТ 12730.5-84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.



ОАО "Осколцемент"



Россия, 309530, Белгородская обл., г. Старый Оскол, площадка цемзавода
адрес изготовления: индекс, город, область, улица, дом

Тел.: (4725) 26-06-21 Факс: 44-17-36, e-mail: _____

ДОКУМЕНТ О КАЧЕСТВЕ



Портландцемент ПЦ 500 Д0
ГОСТ 10178-85, ГОСТ 30515-97,
(СЕМ I 42.5N по EN 197-1:2000)

Партия № 404

Дата отгрузки "15" 7 2007 г.
№№ вагонов 44.6 849.26
Тонкость помола (%) 5.5
Класс прочности (марка) ПЦ 500-Д0 (СЕМ I 42.5N)
Минеральная добавка (%) нет
вид, количество
Нормальная густота цементного теста 26
Наличие признаков ложного схватывания _____
срок, лет
Средняя активность при пропаривании 37.4
за предельный месяц, МПа
Группа по эффективности пропаривания 1
Значение удельной эффективности активности естественных радионуклидов
249.8 Бк/кг, при норме не более 370 Бк/кг
Гарантийный срок (суток) 60

Химический состав цемента (%)

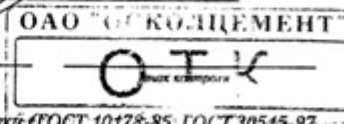
Содержание оксида магния MgO в клинкере	<u>0.78</u>	№
Содержание оксида серы (VI) SO ₃	<u>2.37</u>	№
Содержание хлор-иона Cl ⁻	<u>0.001</u>	№
Массовая доля щелочных оксидов R ₂ O	<u>0.54</u>	№

Минералогический состав клинкера (%)

C ₁ S (трехкальциевый силикат)	<u>68.7</u>	№
C ₂ S (двухкальциевый силикат)	<u>11</u>	№
C ₃ A (трехкальциевый алюминат)	<u>11.7</u>	№
C ₄ AF (четырекальциевый алюмоферрит)	<u>11.8</u>	№

Ввод ТЭА _____

Начальник ОТК и лаборатории _____



Потребителю:

В соответствии с договором поставки (ГОСТ 10178-85, ГОСТ 30515-97, EN 197-1:2000) испытания цементов производятся по ГОСТ 310.1-76, ГОСТ 310.2-76, ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 310.4-81, ГОСТ 310.6-85, EN 196.1-91, EN 196.3-91, EN 196.6-91.



ОАО «Хромцовский карьер»

Адрес: 155532, Россия, Ивановская обл.,
Фурмановский р-н, п. Хромцово

Паспорт качества № _____
на щебень гравийный фракции 5-20 мм
Сертификат соответствия № РОСС RU.СЛ93.Н00056
Действителен до 16.07.2011



« 18 » 08 2010 г.

Потребитель _____
Номер вагона _____
Количество _____ Тонн _____
№ ж/д квитанции _____

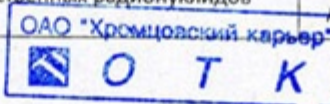
Качественные показатели

№ п.п.	Наименование показателей	Требования ГОСТ 8267-93	Фактические показатели	
1.	Зерновой состав (полные остатки) на контрольных ситах, %			
	Размеры отверстий контрольных сит, мм	1,25D мм	до 0,5	-
		D мм	до 10	8,6
		0,5(d+D) мм	30-80	74,8
	d мм	90-100	94,8	
	На сите 2,5 мм	95-100	99,0	
2.	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, %		25,0	
3.	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	до 1	0,94	
4.	Содержание зерен слабых пород, %	до 10	7,5	
5.	Содержание дробленых зерен, %	более 80	86,4	
6.	Содержание глины в комках, %	до 0,25	-	
7.	Насыпная плотность, т/м ³	не норм	1,40	
8.	Марка по прочности (дробимости)	400-1000	800	
9.	Марка по истираемости		И1	
10.	Морозостойкость, МРЗ	15-400	150	
11.	Содержание вредных компонентов и примесей:	0-1,5	0,28	
	Сульфаты и сульфиты в пересчете на SO ₃ , % Аморфные разновидности SiO ₂ , ммоль/л	0-50	22,27	
12.	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов щебня Бк/кг	до 370-1кл.	67 ± 6	

Начальник ОТК:

Лаборант:

Смир -



Отзыв на паспорт № _____

Щебень гравийный для строительных работ фр. _____ ОАО «Хромцовский карьер» соответствует требованиям ГОСТ 8267-93

Замечания _____

Представитель получателя _____

(ФИО, должность, подпись)

ОАО «Национальная нерудная компания»
127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д.16, стр.2
Телефон 8(495)232-26-40, факс 8(495)232-26-39 web:www.naaco.ru

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС RU.AB86.H10980

Срок действия с 21.11.2015 по 20.11.2018

№ **1655323**

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ рег. № РОСС RU.0001.11AB86 ПРОДУКЦИИ ООО "ИНТЕРСЕРТ". 117279, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 93А, оф. 423. Телефон (495) 335-42-88, факс (495) 335-42-88, адрес электронной почты intersert@bk.ru.

ПРОДУКЦИЯ Арматура композитная стекло- и базальтопластиковая с маркировкой "Звезда".
 ГОСТ 31938-2012.
 Серийный выпуск.

код ОК 005 (ОКП):

22 9689

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ
 ГОСТ 31938-2012

код ТН ВЭД России:

ИЗГОТОВИТЕЛЬ ООО "НПО "Звезда".
 Адрес: 153021, г. Иваново, Проезд Красных Зорь, д.4, оф.2

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН ООО "НПО "Звезда".
 Адрес: 153021, г. Иваново, Проезд Красных Зорь, д.4, оф.2
 Телефон 8(4932)33 93 17.

НА ОСНОВАНИИ Протокол испытаний № 6-044-15 от 20.11.2015 г., Испытательная лаборатория ООО "КапиталСтрой", аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AB87 от 23.04.2014 г. до 28.10.2016 г., адрес: 125499, г. Москва, Флотская ул., 46

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Схема сертификации: З.



Руководитель органа
 (заместитель руководителя)
 Эксперт

(Handwritten signature)

 ПОДПИСЬ

А.А. Дмитриева
инициалы, фамилия
 А.Р. Эмирджанов
инициалы, фамилия

Сертификат не применяется при обязательной сертификации



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 159663

**ГИЛЬЗА ДЛЯ УДЕРЖИВАНИЯ ПРУТКА КОМПОЗИТНОЙ
АРМАТУРЫ, ВЫРЫВАЕМОГО ИЗ БЕТОНА**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановский государственный политехнический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

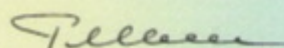
Заявка № 2015110211

Приоритет полезной модели 23 марта 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 26 января 2016 г.

Срок действия патента истекает 23 марта 2025 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 Г.П. Излиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 159684

**ГИЛЬЗА ДЛЯ УДЕРЖИВАНИЯ ПРУТКА КОМПОЗИТНОЙ
АРМАТУРЫ, ВЫРЫВАЕМОГО ИЗ БЕТОНА**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановский государственный политехнический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015127522

Приоритет полезной модели 08 июля 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 26 января 2016 г.

Срок действия патента истекает 08 июля 2025 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Излиев Г.П. Излиев