

На правах рукописи



ШАТАЛОВ АНТОН АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПОЛИМЕРСИЛИКАТНЫЕ ЗАЩИТНО-ПРОПИТОЧНЫЕ
КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЧНЫХ
БЕТОННЫХ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Специальность 2.1.5. Строительные материалы и изделия

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Улан-Удэ 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО «НГАУ»)

Научный руководитель:	Пичугин Анатолий Петрович, доктор технических наук, профессор Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
Официальные оппоненты:	Низина Татьяна Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» Яковлев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», заведующий кафедрой «Строительные материалы, механизация и геотехника»
Ведущая организация	ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Защита состоится «23» декабря 2022 года в 13-00 часов на заседании диссертационного совета 99.2.050.02, созданного на базе Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления по адресу: 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40 В, стр. 8, ауд. 8-124.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления и на сайте <https://esstu.ru/uportal/dissertation/dissertationCommentary.htm?dissertationId=526>

Автореферат разослан «31» октября 2022 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор

Урханова Лариса Алексеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Бетонные и железобетонные причалы речных бассейнов Сибири в большинстве своём выработали свой проектный ресурс, и находятся в неудовлетворительном состоянии. Разрушение бетонных причалов вызвано целым рядом различных причин, главными из которых являются: постоянное увлажнение и осушение, попеременное замораживание и оттаивание в водонасыщенном состоянии, воздействие растворов различной степени агрессивности, механические истирающие и ударные нагрузки во время швартовки судов и движения льда в период ледохода и т.д.

Нарастание количества дефектов приводит к снижению несущей способности бетонных сооружений за счет повышения коэффициента фильтрации бетона и изменения структуры цементного камня, которые в свою очередь зависят от зоны, где происходят разрушения (надводная зона, зона переменного уровня воды и подводная зона).

Предложены полимерсиликатные композиции с добавками направленного действия, обеспечивающие сохранность и эксплуатационную пригодность причальных сооружений для каждой из зон разрушения.

Диссертационное исследование выполнялось по программе «Комплексное использование природного сырья», в рамках общероссийской программы 01.87.0.001.003 Минсельхоза Российской Федерации: тема XIV «Разработать методы повышения долговечности и эффективности работы строительных конструкций зданий и сооружений» и по программе 5.02 «Экология, охрана окружающей среды Сибири» в период 2010 - 2018 г., и в соответствии с научно-технической программой Новосибирского государственного аграрного университета «Создание и опытно-промышленное освоение новых энергосберегающих технологий и техники модульного исполнения для производства строительных материалов из местного сырья и промышленных отходов». Исследования проведены в научных лабораториях СО РАН, Новосибирского государственного аграрного университета, НПО «СибГЕО» и др.

Степень разработанности темы. Исследованию полимерсиликатных защитно-пропиточных композиций строительных материалов посвящены работы Колокольниковой Е.И., Королева Е.В., Мощанского Н.А., Погорелова В.А., Пухаренко Ю.В., Хозина В.Г., Яковлева Г.И. Повышению долговечности бетона портовых гидротехнических сооружений посвящены труды Алексева С.И., Будина А.Я., Довгаленко А.Г., Иванова Ф.М., Уварова Л.А. Анализ существующей информации показал, что данные о методах защиты бетона портовых гидротехнических сооружений полимерсиликатными защитно-пропиточными композициями фрагментарны. Комплексных систематических исследований по данной тематике не проводилось, отчеты и фондовые материалы отсутствуют.

Цель исследования: разработка и исследование полимерсиликатных защитно-пропиточных композиций для восстановления работоспособности и повышения эксплуатационных характеристик бетонных и железобетонных речных причальных сооружений.

Задачи исследования:

1. Произвести анализ причин интенсивного разрушения бетонных и железобетонных речных причальных сооружений и дать оценку прочностных свойств и коррозионной стойкости;

2. Разработать составы полимерсиликатных защитно-пропиточных композиций; определить основные закономерности формирования композиционных материалов с полимерными связующими с различными способами предварительной подготовки пропитываемых составов в условиях воздействия коррозионных сред;

3. Провести комплекс лабораторных исследований, стендовые и полигонные испытания полимерсиликатных защитно-пропиточных композиций с добавками направленного действия от структурообразующих и технологических факторов при воздействии эксплуатационных нагрузок и сред для определения коррозионной стойкости при пропитке и защите бетона;

4. Разработать способы повышения эксплуатационных показателей бетонных и железобетонных речных причальных сооружений путем предварительного введения в полимерсиликатную композицию наноразмерных добавок;

5. Выработать методические принципы расчета оптимальной прочности и коррозионной стойкости бетонных причальных сооружений для применения в условиях эксплуатации и агрессивного воздействия речных сред, а также разработать методы прогнозирования долговечности бетонных конструкций с полимерсиликатными защитно-пропиточными композициями;

6. Разработать технологию защиты и восстановления бетонных конструкций причалов полимерсиликатными композициями с наноразмерными добавками; подготовить нормативно-техническую документацию (Рекомендации и Временные Технические Условия) и организовать опытно-производственное внедрение в условиях действующих портовых объектов; произвести техникоэкономическую оценку эффективности применения научных разработок.

Научная гипотеза. Выдвинуто предположение о том, что при эксплуатации речных причальных сооружений следует разрабатывать свои защитно-пропиточные составы с учетом степени разрушения, обладающие определенными качественными характеристиками (вязкостью, паропроницаемостью, ударной прочностью), что может быть реализовано использованием полимерсиликатных композиций с добавками направленного действия, включая наноразмерные компоненты.

Научная новизна работы:

1. Определена зависимость остаточной прочности и водопоглощения бетона от пористости цементного камня причальных сооружений, в соответствии с которыми предложено разделить состояние разрушаемых конструкций на три группы: пористостью до 15%; от 15 до 25% и более 25%. Для каждой группы рекомендована разработка своего набора ремонтно-пропиточных составов.

2. Доказано, что введение в полимерсиликатную композицию предварительно размолотого порошка дегидрол с другими минеральными компонентами и наноразмерными добавками кремнезоля и УНТ обеспечивает проникновение защитно-пропиточного состава до 0,2–0,4 м, создавая надежную защиту, снижая диффузионную проницаемость и восстанавливая прочность и стойкость бетона причальных сооружений к различным условиям работы.

3. Установлено, что для разной степени деструкции бетона существует зависимость между пористой структурой цементного камня в бетоне причальных сооружений и необходимостью обеспечения паропроницаемости материала в пределах 0,03–0,06 г/м². Это способствует обеспечению осушения бетонного массива и его сохранности и может быть реализовано введением в защитно-пропиточную полимерсиликатную композицию предварительно размолотых алюмосиликатных микросфер в количестве до 0,8–1,2 %. При этом создаются преимущественно микропоры радиусом от 100 до 500 нм, защищая бетон от увлажнения снаружи.

4. Установлено, что введение в состав защитной полимерсиликатной композиции добавки 30-процентного раствора кремнезоля с трёхпроцентным раствором углеродных нанотрубок обеспечивают повышение адгезии ремонтного состава с разрушенным бетонным массивом в два-три раза, а предварительно размолотые отходы хризотилцемента в количестве 5-8% за счет микроармирования повышают сопротивляемость бетонных причальных сооружений ударным воздействиям судов во время навигации и льда в период ледохода.

Объектом исследования диссертации являются полимерсиликатные защитно-пропиточные композиции для восстановления речных портовых бетонных гидротехнических сооружений. **Предметом** исследования является разработка технологии производства защиты бетонных конструкций портовых сооружений.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Разработаны и внедрены прогрессивные методы защиты и восстановления бетонных сооружений полимерсиликатными составами с наноразмерными добавками направленного действия, что обеспечивает значительное увеличение межремонтных периодов, сокращает трудовые, материальные и энергетические затраты, обеспечивает высокий эффект за счет возможности сохранения бетонных и железобетонных причальных сооружений в работоспособном состоянии.

2. Предложены методы качественного улучшения состояния бетонных и железобетонных конструкций причалов полимерсиликатными составами путем введения микроармирующих и наноразмерных добавок, способствующих увеличению долговечности и надежности объектов. Прочность бетонных и железобетонных элементов увеличивается на 20–40 %, а также повышается водо- и морозостойкость за счет гидрофобизации поверхности минеральных конгломератов.

3. Отработана рациональная рецептура полимерсиликатных композиций и технологические режимы проведения процессов защиты бетона, обеспечивающие придание долговечности причальным сооружениям.

4. Разработана технологическая схема процессов защиты бетона полимерсиликатными составами с наноразмерными добавками направленного действия, подобрано технологическое оборудование и производственно-технологическая оснастка для проведения работ.

5. Выпущены Рекомендации производству и ВТУ 5381-031-00493876-2017 «Полимерсиликатные защитно-пропиточные композиции для повышения эксплуатационных характеристик бетонных и железобетонных речных причальных сооружений» для широкого внедрения предлагаемых полимерсиликатных составов с наноразмерными добавками направленного действия, на основании которых разработаны реальные проекты для портовых предприятий речных бассейнов

Сибири. Опыт эксплуатации бетонных конструкций, обработанных полимерными составами с наноразмерными добавками направленного действия, показал высокую эффективность разработанных мероприятий.

Степень достоверности. Основные положения и выводы диссертации подтверждаются большим объемом экспериментальных данных с использованием современных методов научного исследования, а также глубокой его проработанностью с применением методов математической статистики, анализа, современных поверенных приборов и гостированных методов анализа и обработки данных.

Методология и методы диссертационного исследования. Теоретической основой проведенных исследований послужили научные труды, посвященные вопросам повышения долговечности бетона гидротехнических сооружений, а также нормативно-правовые и научно-технические документы. Для исследования структуры полимерсиликатных композиций и физико-химических процессов в системе – «полимерсиликатная композиция : минеральная добавка : наполнитель : наноразмерные добавки» применялись стандартные методы физико-механических исследований, включающие механические испытания образцов на аттестованном оборудовании с последующей статистической и математической обработкой результатов с заданной достоверностью. В работе использованы такие методы анализа материалов, как дифференциальный термогравиметрический и рентгенофазовый анализы, термомеханические и порометрические исследования, изучение микроструктуры, а также математическое планирование эксперимента. Для обработки и представления результатов измерений использовались программные пакеты AutoCAD, Microsoft Excel, PCSheetPileWall, Foundation.

Положения, выносимые на защиту:

- экспериментальное обоснование по формированию полимерсиликатных композиций с добавками направленного действия, обеспечивающими высокую проницаемость и антикоррозионные качества пропитываемым бетонным конструкциям причалов в условиях воздействия речных сред северных территорий страны;

- установленные возможности регулирования эксплуатационных свойств бетонных причальных конструкций путем введения наноразмерных добавок в полимерсодержащие композиции, что обеспечивает высокую проницаемость и взаимосвязь между пропитывающим составом и бетоном;

- результаты исследования основных свойств контактных слоев в системе «защищаемые бетонные конструкции причалов – полимерсиликатная композиция - наноразмерные и микроармирующие добавки» в широком диапазоне воздействующих факторов;

- результаты опробования и внедрения разработанных составов в производственных условиях, а также технико-экономическую оценку разработанной технологии защиты бетонных причалов от коррозионного разрушения речных агрессивных сред.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на ежегодных научно-технических Международных, общероссийских, региональных и межвузовских конференциях и семинарах в г.

Новосибирске (НГАУ, НГАСУ, «СтройСиб» на Сибирской Ярмарке), Томске, Казани, Волгограде, Новокузнецке, Саратове, Челябинске, Одессе, Якутске, Шарм Эль-Шейхе (Египет) в 2015–2019 г.г.

Внедрение результатов исследования. Опытно-производственное внедрение результатов исследований осуществлено при ремонтно-восстановительных работах в речном порту г. Ленск в 2011–2019 г.г.

Личный вклад автора состоит в определении цели и задач диссертационного исследования; выборе предмета и объектов исследования; разработке методологии исследования; обосновании источников информации, проведении их анализа; разработке методического инструментария решения поставленных задач; апробации результатов исследования на научно-практических конференциях международного и всероссийского уровня; внедрении результатов в практическую деятельность портовых предприятий речных бассейнов Сибири; подготовке научных публикаций, отражающих основное содержание диссертационной работы, в том числе в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК.

Публикации. Основные результаты научных исследований опубликованы в 21 статье, в том числе 7 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; по результатам проведенной работы оформлены заявки на патент.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов по работе и приложений; содержит 194 страницы основного (компьютерного) текста, включая 20 таблиц, 50 рисунков и 174 литературных источника, 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность и практическая значимость выбранного направления исследования; сформулированы цель и задачи диссертационной работы; излагаются положения, выносимые на защиту.

В первой главе (*Состояние вопроса. Цели и задачи исследования*) выполнен обзор состояния бетонных речных портовых причальных конструкций, рассмотрены особенности эксплуатационных воздействий на бетонные конструкции причальных сооружений, рассмотрена поровая структура бетона и её характеристики, приведены методы защиты бетона для продления срока службы.

Бетонные и железобетонные причалы речных бассейнов Сибири в большинстве своём выработали свой проектный ресурс, и находятся в неудовлетворительном состоянии. Проведённые обследования позволили установить, что в пробах бетона, отобранных из разрушающихся частей причальных массивов, резко увеличилась суммарная пористость и в том числе макропористость, что напрямую свидетельствует о высокой степени коррозионного разрушения бетона.

Цементный камень (растворная часть бетона) этих проб был подвергнут химическим и структурным исследованиям. При этом было выявлено, что все стадии разрушения бетона (от начального выщелачивания до интенсивной солевой коррозии и разрушения от воздействия попеременного замерзания) связаны непосредственно с изменением структурной пористости.

Наиболее опасным для железобетона и стальной арматуры является содержание в воде хлоридных ионов, вызывающих электрохимический процесс разложения стали в щелочной среде.

Установлено, что прочность и деформативность цементного камня, а в ещё большей степени проницаемость, морозостойкость и морозосолеустойкость оказываются в большой зависимости не только от кристаллической решётки отдельных кристаллов новообразований, но и от размеров и конфигурации пор цементного камня. Большое влияние на эти свойства оказывает характер пористости – структура порового пространства, под которой понимается число, размеры, характер распределения пор и капилляров, пронизывающих тело бетона.

Структура порового пространства бетона, хотя в значительной степени и определяется поровой структурой цементного камня, имеет свои характерные особенности, которые значительно влияют на свойства бетона. Поэтому структуру порового пространства бетона необходимо оценивать в целом с учётом неизбежных, в большинстве случаев, дефектов.

Важную роль в предохранении бетона от дальнейшего разрушения играет рациональное конструирование. При этом необходимо придание бетонной поверхности конструкционной формы, которая будет исключать скопление в углублениях воды и различных органических веществ.

Защиту бетона от коррозии можно разделить на первичную и вторичную.

Долговечность гидротехнических сооружений в значительной степени определяется способностью материала этих конструкций противостоять многократным циклам замораживания и оттаивания, т.е. способностью материалов выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения или значительного изменения прочности. Для обеспечения нормальной технической эксплуатации и повышения долговечности причальных сооружений рекомендуется использовать специальные полимерсиликатные составы с добавками направленного действия. Такие полимерсиликатные защитные композиции могут повысить стойкость бетонных причалов в условиях агрессивного воздействия гидротехнических сооружений.

Исходя из обзора состояния и рассмотренных особенностей эксплуатационных воздействий на бетонные конструкции речных портовых причальных сооружений сформулированы основные задачи исследования.

Во второй главе (*Материалы и методы исследований*) приведены материалы для защиты бетонных причальных конструкций от коррозионного разрушения, методика изготовления и испытания образцов, а также методы исследования материалов.

В качестве связующего использована полимерсиликатная композиция, включающая поливинилацетатную дисперсию (ПВА) и водный раствор силиката натрия. Дисперсия ПВА представляет собой поливинилацетатную дисперсию с различными добавками направленного действия: корректирующего, пластифицирующего, антисептирующего, противоморозного, стабилизирующего и прочего действия.

В работе использовано жидкое натриевое стекло, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13078-81*, имеющее нормируемый химический состав и требуемые для связующего свойства.

В качестве наполнителя использован дегидрол. Он представляет собой материал проникающего действия для гидроизоляции бетона и затвердевших цементных строительных растворов; используется в качестве гидроизолирующей добавки в бетонные и цементные строительные растворы и смеси. Принцип работы дегидрола состоит в том, что минеральная пористая структура существующих или вновь образующихся на стадии твердения бетона поверхностей перекрывается продуктами взаимодействия колюматизирующих добавок дегидрола.

В наших исследованиях использовался дегидрол марки 7 «Эластичный шовный гидроизолирующий», позволяющий осуществлять ремонт и гидроизоляцию швов, трещин и омоноличивание поверхности бетона различной пористости, подверженных деструкции при эксплуатации в речных портовых сооружениях от многократного замораживания и оттаивания, увлажнения и высушивания, перепадов температур и иных циклических деформаций. Использование дегидрола в строительстве регламентируется требованиями п. 5.20 СП 82-101-98. Он не способен гореть и не поддерживает горения, не выделяет токсичных продуктов (в т.ч. при попадании в очаг возгорания).

В качестве модифицирующих добавок использовались водные растворы углеродных нанотрубок и кремнезоль.

Кремнезоль производится ОАО «КазХимНИИ» концентрацией 30 %, углеродные нанотрубки (УНТ) марки С-100 фирмой «Агсета» концентрацией 3,0–3,1 %.

Для придания композиции паропроницаемости использовались алюмосиликатные микросферы производства Кемеровского ООО «Дюк-Плюс» объемно-насыпной плотностью 330 кг/м³ и действительной плотностью 2550 кг/м³.

Для дисперсного армирования грунтобетона использовались отходы (шлам) хризотилцементного производства. Шлам находится в рыхлом состоянии и содержит агрегированные или дисперсные частицы хризотилцемента с наличием до 50–60 % гидратированного портландцемента марки М400 производства ООО «Искитимцемент».

Испытания материалов осуществлялись по действующим методикам. Для исследования глубины проникновения композиций использовался неразрушающий контроль методом проникающих веществ. Прочность сцепления с основанием определялась по ГОСТ 28574.

Изучение структуры проводилось по методикам соответствующих приборов и методов исследования строительных материалов (термомеханический анализ, микроструктурный анализ, рентгенофазовый анализ, порометрия и др.).

Рентгенофазовый анализ осуществлялся на установке ДРОН-3.

Для определения реологических характеристик использовался вискозиметр Реотест-2 и консистометр Хепплера.

Микроструктурные и порометрические исследования производились в экспериментальной лаборатории института неорганической химии СО РАН. Срезы образцов конгломератного материала и изготовление шлифов и аншлифов выполнялись в производственных мастерских Новосибирской геологической партии.

Кислотно-основные свойства материалов оценивали по показателю pH водных вытяжек и значению электрохимического потенциала. Удельную поверхность

минеральных порошков, отходов ХЦП и других компонентов определяли на приборе ПСХ-2.

В третьей главе (*Выбор полимерсиликатной композиции и изучение основных свойств защищённого бетона*) рассмотрены составы и свойства бетонов и добавок.

Большинство обследованных объектов требуют текущего и капитального ремонта, а отобранные пробы бетона и их характеристики свидетельствуют об интенсивной деградации бетона и необходимости срочных восстановительных мероприятий данных объектов.

Так, отмечены значительные потери прочности (табл. 1), особенно для бетона, находящегося в зоне переменного уровня воды. Эти снижения прочности составляют для наружных слоев от 50 до 95 %, что отражается на эксплуатационной пригодности причальных сооружений.

Таблица 1 – Средние значения показателей свойств бетонных образцов, отобранных из массивов причальных сооружений

№ п/п	Характеристика и основные свойства отобранных образцов бетона	Зоны (уровни) отбора образцов								
		Переменный	Переменный	Переменный	Подводный	Внутренний слой (0,25 м)	Внутренний слой (0,50 м)	Надводный с причала	Надводный (0,50 м)	Надводный (0,50 м)
1	Проектная прочность, МПа	20,0- 30,0	25,0- 35,0	30,0- 40,0	20,0- 30,0	15,0- 20,0	20,0- 25,0	15,0- 20,0	20,0- 25,0	25,0- 30,0
2	Предел прочности при сжатии в сухом состоянии, МПа	2,9- 4,9	4,8- 18,9	8,4- 11,4	16,7- 23,3	16,8- 21,8	20,0- 26,6	4,2- 8,4	12,2- 21,5	17,5- 23,4
3	Предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа	2,6- 5,7	4,5- 17,7	8,3- 11,9	13,5- 26,4	13,1- 23,4	14,4- 30,0	5,8- 7,3	18,2- 25,7	17,6- 23,5
4	Средняя плотность, кг/м ³	1,81- 1,88	1,92- 1,94	1,91- 1,95	2,04- 2,21	2,06- 2,12	1,94- 1,98	1,88- 1,93	1,90- 1,94	2,01- 2,07
5	Водопоглощение за 24 часа, %	16,7- 24,1	10,9- 24,8	12,4- 17,9	4,3- 8,7	6,5- 13,6	4,1- 9,8	14,2- 27,0	10,5- 14,8	7,3- 12,2
6	Пористость цементного камня в бетоне, %	22,7- 31,1	18,9- 22,3	20,6- 27,2	13,3- 16,5	14,2- 19,8	13,9- 16,5	21,5- 28,6	20,5- 24,9	18,2- 21,8
7	Средняя остаточная прочность, %	15- 25	12-60	20-35	50-80	75- 95	80- 100	25- 50	60-75	70- 90

Учитывая структурные различия бетона и его состояние в условиях воздействующих факторов, было принято решение о необходимости разделения на три группы по степени разрушения. В качестве основных критериев были приняты: потеря прочности, водопоглощение и пористость бетонных образцов, отобранных из массива причальных сооружений (рис. 1, табл. 2).

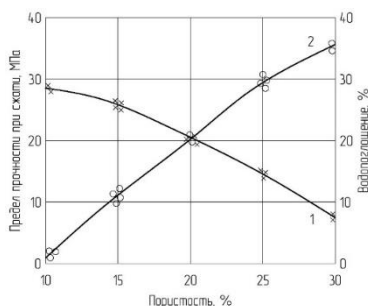


Рисунок 1 – Зависимость средних значений прочности (1) и водопоглощения (2) от пористости бетона

Таблица 2 – Разделение бетона на группы ремонтпригодности в зависимости от степени разрушения

Группа	Показатели		
	Потеря прочности, %	Пористость, %	Водопоглощение по объему, %
I	5 - 20	До 15	Менее 10
II	20 - 50	15 - 25	10 – 25
III	Более 50	Более 25	Более 25

После проведения лабораторных испытаний состав полимерсиликатной композиции для пропитки бетона причальных сооружений был принят следующий: ПВА : ЖС от 1:1 до 1:2.

Для повышения способности предложенных составов впитываться в бетоны с поверхности вводились дополнительные компоненты, обеспечивающие проникновение состава вглубь бетонного массива. В качестве такой добавки был принят дегидрол, который обеспечивал проникновение защитно-пропиточной композиции вглубь бетонного массива на 50–100 мм при расходе 15–20 % по массе. При этом существенно повышалась вязкость всей системы, что отрицательно сказывалось на общем расходе композиции, поэтому рациональным был признан расход дегидрола в количестве 10–15 %. Кроме того, в целях снижения вязкости защитно-пропиточной композиции было предложено вводить растворы наноразмерных добавок – 30-процентный раствор кремнезоля и 3-процентный раствор углеродных нанотрубок. Их введение в десятых долях процента обеспечивает повышение глубины проникновения композиции в бетон, а также значительно снижает вязкость полимерсиликатного состава (рис. 2 и 3).

Введение отходов хризотилцементного производства (ОХЦП) позволило уменьшить расход композиции в полтора-два раза и повысить прочность полимерсиликатной композиции при ударе. Рациональным признан расход ОХЦП в пределах 5–10 % (рис. 4, 5).

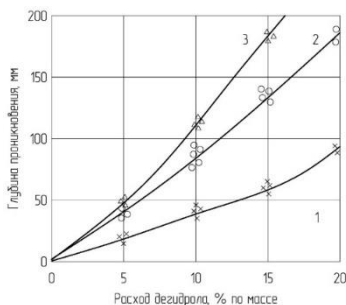


Рисунок 2 – Влияние расхода дегидрола на глубину проникновения полимерсиликатной композиции в бетон:

- 1 - без добавки;
- 2 - с добавкой кремнезоля;
- 3 - с добавкой кремнезоля и УНТ.

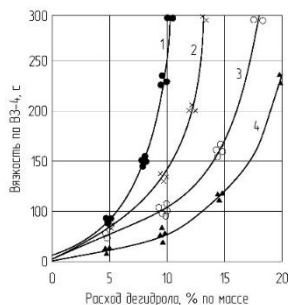


Рисунок 3 – Влияние дегидрола на реологические характеристики полимерсиликатной композиции:

- 1 - без добавок;
- 2 - с добавкой кремнезоля;
- 3 - с добавкой УНТ;
- 4 - с добавкой кремнезоля и УНТ.

Для увеличения паропроницаемости защитной системы в защитно-пропиточную композицию были введены алюмосиликатные микросферы (рис. 6). Для обеспечения требуемой водопроницаемости оптимально ограничить процентное содержание микросфер в количестве 1,0–1,5 % (рис. 7).

Защитно-пропиточная композиция для бетонных объектов предусматривала в качестве наполнителей использование молотых отходов хризотилцементного производства и алюмосиликатных микросфер совместно с добавкой дегидрола. В таблице 3 представлены результаты испытания адгезионной способности различных составов к бетонному основанию причальных сооружений. Введение в эти составы минеральных порошков снизило усадочные деформации и способствовало улучшению прочностных и деформативных свойств защитных композиций.

Как показали испытания таких составов, разрушения целостности контактного слоя не происходит. Прочность в контактной зоне при испытании на сдвиг колеблется в пределах от 5,0 до 12,5 МПа, а при испытании на отрыв – от 0,8 до 4,5 МПа.

Прочность материала покрытия при попеременном увлажнении и высушивании, так же, как и при постоянном нахождении в воде практически не изменяется; при замораживании и оттаивании она снижается всего на 5–8 % за триста циклов, что свидетельствует о достаточной сопротивляемости защитно-пропиточной композиции при незначительных потерях массы, не превышающих 5–10 %.

Проведенные исследования показали, что защитно-пропиточные полимерсиликатные композиции для бетонных причальных конструкций обладают рабочей вязкостью по вискозиметру ВЗ-4 от 30 до 200 с со временем затвердевания от двух до трех часов. Пропитки осуществляется до 100–150 мм в глубь массива. Защитное покрытие на наружной поверхности имеет адгезионную прочность не менее 2 МПа. Основные свойства защитно-пропиточных композиций для бетона причальных сооружений представлены в таблице 4.

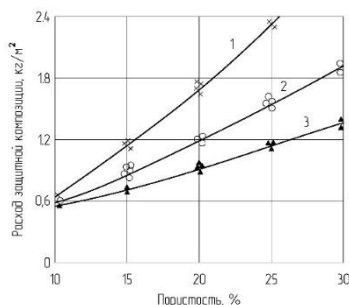


Рисунок 4 – Влияние пористости бетона на расход полимерсиликатной композиции:

- 1 - без наполнителя;
- 2 - с добавкой 5 %;
- 3 - с добавкой 10 % молотых отходов хризотилцемента.

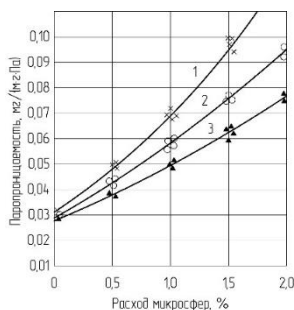


Рисунок 6 – Влияние расхода микросфер в полимерсиликатной композиции без дегидрола на паропроницаемость защищаемого бетона:

- 1 - фракция 0,10–0,25 мм;
- 2 - то же, 0,05–0,10 мм;
- 3 - то же, 0,01–0,05 мм.

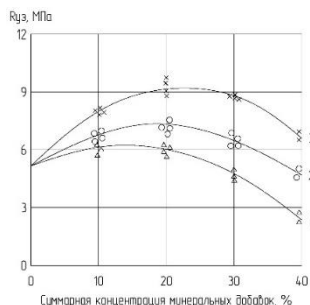


Рисунок 5 – Влияние концентрации минеральных добавок на прочность при ударе защитной полимерсиликатной композиции:

- 1 - без добавки отхода хризотилцементного производства (ОХЦП);
- 2 - с добавкой ОХЦП 5 %;
- 3 - с добавкой ОХЦП 10 %.

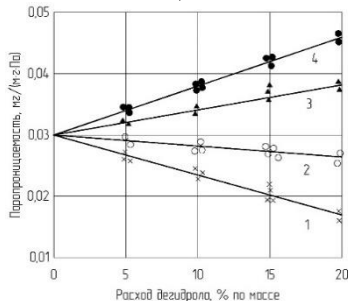


Рисунок 7 – Влияние расхода дегидрола в полимерсиликатной композиции на паропроницаемость защищенного бетона:

- 1 - без добавки;
- 2 - с добавкой микросфер 0,5 %;
- 3 - то же, 1%; 4 - то же, 2 %.

Полимерсиликатные составы на основе дисперсии ПВА и жидкого стекла с минеральными добавками устойчивы к большинству агрессивных сред малой концентрации, в том числе к растворам кислот с концентрацией до 2 %. Устойчивость материала против воздействия щелочей, солей, продуктов нефтехимии и агрессивных сред, растворенных в речных водах, является вполне достаточной для практических целей.

Таблица 3 – Адгезионная способность защитно-пропиточных композиций с различными минеральными наполнителями и добавками

Вид наполнителя или добавки	ПВА + жидкое стекло + вода			
	Без добавок	30% раствор кремнезоль, 10%	3% раствор углеродных нанотрубок, 0,05%	30% раствор кремнезоль + 3% раствор углеродных нанотрубок
Без наполнителя	1,9	2,3-2,9	3,8-4,5	4,1-4,8
Дегидрол 5%	3,1	3,9-4,5	4,5-4,9	4,7-5,6
Дегидрол 10%	4,2	5,9-6,8	7,0-8,9	6,4-9,3
Алюмосиликатные микросферы, 1%	3,1	3,7-5,2	4,4-6,1	5,6-6,7
Отходы хризотилцементного производства	3,4	3,8-4,6	5,1-6,5	6,5-7,8

Отмечено также, что введение кремнезоль и УНТ в состав защитной композиции повышает водостойкость на 20–24 %. Объяснением этому является отмеченное структурное изменение пористости в цементном камне. На рисунке 8 представлены кривые пористости пропитанного бетона в зависимости от вида добавок в защитно-пропиточной композиции. Отмечено, что введение наноразмерных добавок способствует снижению пористости цементного камня и, как следствие, приводит к повышению водостойкости и водонепроницаемости благодаря переходу макропористости в микропористую структуру. Этот же процесс влияет на увеличение сопротивляемости бетона воздействию знакопеременных температур во влагонасыщенном состоянии (морозостойкости бетона).

Таблица 4 – Основные свойства защитно-пропиточных композиций для бетона причальных сооружений

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Параметры свойств по группам (составам)			
			По требованиям	I	II	III
1	Рабочая вязкость по вискозиметру ВЗ-4	с	30-100	30-75	60-125	90-200
2	Время затвердевания (без коагуляции) не ранее	часы	2-3	2-3	2-3	2-3
3	Глубина пропитки	мм	25-50	50-150	25-100	25-75
4	Адгезия к бетону	МПа	≥0,5	2,0-5,0	2,0-5,0	2,0-5,0
5	Предел прочности при сжатии	МПа	≥5	5,0	5,0-7,5	5,0-7,5
6	Предел прочности при ударе	МПа	≥6	5,0	6,0	9,0
7	Истираемость пропитанного бетона	кг/м²	-	-	0,2	0,1
8	Водостойкость пропитанного бетона	циклы	≥100	150	250	400
9	Паропроницаемость	Мг/(м•ч•Па)	≥0,04	0,05	0,04	0,06
10	Морозостойкость	циклы	≥100	150	200	300
11	Диапазон работы при температуре наружного воздуха	°С	+5 ... +40	+5 ... +40	+5 ... +40	+5 ... +40

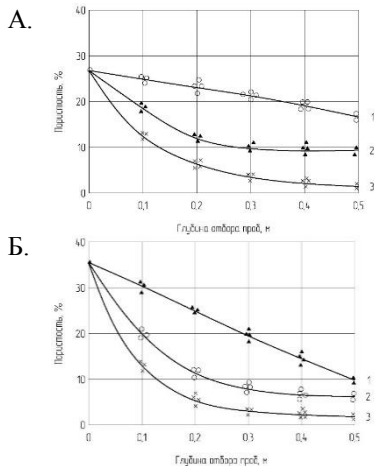


Рисунок 8 – Изменение пористости цементного камня бетона зоны переменного уровня воды (А) и надводной части причалов (Б), защищенного полимерсиликатной композицией с добавками:

- 1 - без обработки;
- 2 - пропитка разработанной композицией без нанодобавок;
- 3 - то же, с наноразмерными добавками кремнезоля и УНТ.

Как следует из приведенных графиков, благодаря разработанным полимерсиликатным композициям можно практически полностью кольтматировать поры в цементном камне, что будет способствовать увеличению сроков технической эксплуатации всего сооружения.

В четвертой главе (*Физико-химические исследования процессов коррозионного разрушения и защиты бетона причальных сооружений*) рассмотрена пористая структура бетонов, обработанных полимерсиликатными композициями и предложен метод прогнозирования срока службы бетонных причальных сооружений.

Для косвенной оценки диффузионных показателей использовался метод капиллярной пропитки. Результатом исследований являются графики зависимости коэффициента массопереноса от среднего относительного массосодержания образца в совокупности с измеренным значением максимального массосодержания и проницаемостью (рис. 9).

При введении дегидрола и ПВА большая часть объема пористой структуры переходит в зону пониженной размерности пор, что обеспечивает дополнительную стойкость материала. Так же введение добавки дегидрола способствует кольтматации макропор и перевода их в область микропористой структуры (рис. 10).

Введение полимерсодержащей композиции не может активно влиять на химические процессы структурообразования цементных композитов как видно из кривых, на рисунке 11. Максимальный эффект изменения микроструктуры цементного камня, обработанного полимерсиликатной защитно-пропиточной композицией с наноразмерными добавками, отмечается при введении растворов кремнезоля и углеродных нанотрубок (рис. 12).

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что введение наноразмерных добавок - растворов кремнезоля и углеродных нанотрубок – способствует формированию более упорядоченной структуры защитного покрытия в контактной зоне цементного камня с полимерсиликатной защитно-пропиточной композицией, снижению дефектности структуры материала и повышению общей сопротивляемости внешним воздействиям.

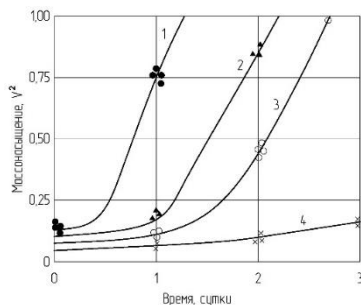


Рисунок 9 – Диффузионные характеристики бетона (степень массонасыщения-коэффициент массопереноса):
 1 - без пропитки;
 2 - пропитка полимерсиликатной композицией без добавок;
 3 - то же, с добавкой дегидрола;
 4 - то же, с добавкой дегидрола и наноразмерных растворов КЗ+УНТ.

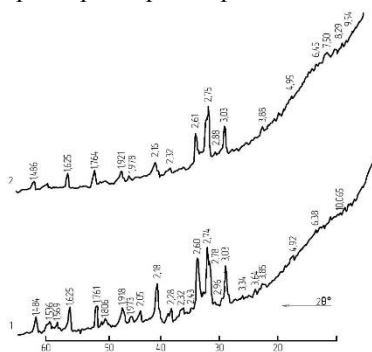


Рисунок 11 – Рентгенограммы цементного камня в системе:
 1 - цемент – вода;
 2 - цемент – вода – ПВА.

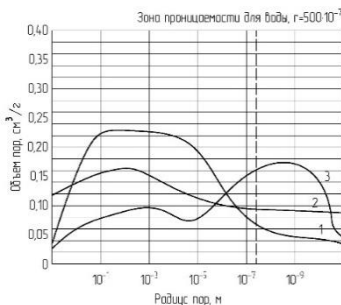


Рисунок 10 – Структура пористости цементного камня бетона, пропитанного полимерсиликатной композицией с добавками направленного действия:
 1 - без пропитки;
 2 - композиция с дегидролом;
 3 - то же, с дегидролом и наноразмерными добавками (растворами КЗ + УНТ).

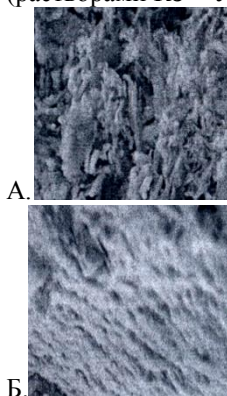


Рисунок 12 – Микроструктура бетона, обработанного полимерсиликатной защитно-пропиточной композицией с нанодобавками: А - бетон, пропитанный без нанодобавок, x1440;
 Б - то же, обработанный полимерсиликатным составом с добавками растворов кремнезоля и УНТ, x1440.

Практически для реального набора дефектов бетонного причального сооружения в условиях выщелачивания цементного камня срок службы может быть определен по следующей формуле:

$$T_{\Pi} = \frac{7,5 \cdot 10^{-10} \cdot \text{Ц} \cdot L_{\Phi}^2}{k_{\Phi} \cdot H_{\Gamma} \cdot C_{\text{и}}},$$

где:

Ц - содержание цемента, г/л;

L_{Φ} - путь фильтрации, см;

k_{Φ} - коэффициент фильтрации, см/с;

H_{Γ} - гидростатический напор, см;

$C_{\text{и}}$ - средняя концентрация извести в воде, г/см³.

Рекомендованы защитные составы, состоящие из нескольких компонентов на основе полимерсиликатных составов - дисперсии ПВА и жидкого натриевого стекла, которые подбирались с учетом коэффициента линейного температурного расширения существующих бетонов с целью обеспечения совместной работы в условиях перепада температур от положительных в летнее время (+40 °С) до значительных отрицательных в зимний период (-50 °С). Разработаны ремонтные составы различных бетонов по прочности, пористости и эксплуатационным характеристикам, соответствующие выработанным требованиям.

Результаты определения водонепроницаемости, твёрдости, усадки и других характеристик полимерсиликатных защитных покрытий из дисперсии ПВА и жидкого стекла с добавкой отходов хризотилцементного производства (ХЦП) и дегидрола представлены в таблице 5 в виде осреднённых показателей по различным составам.

Таблица 5 – Основные физико-механические свойства полимерсиликатного защитного покрытия оптимального состава

№ п/п	Свойства покрытия	Ед. измерения	Показатели
1	Плотность	кг/м ³	1,2-1,4
2	Предел прочности при: сжатии изгибе растяжении	МПа -//- -//-	15,0-22,0 2,8-4,6 3,9-7,0
3	Усадка	%	0,4-0,7
4	Твёрдость	кгс/мм ²	8,3-11,5
5	Истираемость	г/см ²	0,05-0,08
6	Прочность на удар	МПа	2,9-6,5
7	Водопоглощение	%	0,4-0,7
8	Водонепроницаемость – непроницаемы при:	МПа	0,4-0,8
9	Морозостойкость	Кол-во циклов, не менее	200
10	Термостойкость	°С	130
11	Адгезия к бетонному цементному основанию	МПа	1,8-3,1
12	Химическая устойчивость		разрушение по цементному бетону

Проведенные исследования позволили выработать методические принципы расчета оптимальной степени наполнения полимерсиликатных композиций для применения в различных условиях эксплуатации и при различной степени разрушения защищаемых элементов с заранее заданными свойствами, а также выработать методы прогнозирования долговечности предлагаемых защитных покрытий.

В ходе исследований установлены наличие и объем переходной и макропористости для затвердевших минеральных вяжущих: структура цементного камня является макропористой. В то же время при обработке защитными композициями объем макропористости существенно снижается и переходит в объем пор с радиусом менее 10^{-7} м, т.е. в зону недоступной для фильтрации воды. Именно от этого зависят физико-химические свойства бетона по водо- и морозостойкости цементных материалов.

При обработке бетона полимерсиликатной композицией без наполнителей отмечено общее уменьшение объема пор, что объясняется насыщением пористого пространства вязким полимерсиликатным составом, обволакивающим внутреннюю поверхность доступных пор. В то же время микропористая структура, остающаяся практически недоступной для проникновения защищаемой композиции, остается без изменения. Введение добавки дегидрол способствует коагуляции макропор и перевода их в область микропористой структуры (рис. 13).

Определена водостойкость и морозостойкость полимерсиликатных наполненных защитных композиций на основе дисперсии ПВА и жидкого натриевого стекла с бинарными минеральными добавками. Прочность материала покрытия при попеременном увлажнении и высушивании, так же, как и при постоянном нахождении в воде практически не изменяется; при замораживании и оттаивании она снижается всего на 5–8 % за триста циклов, что свидетельствует о достаточной сопротивляемости защитного материала. При этом следует отметить незначительные потери массы, не превышающие 0,5–2,5 %.

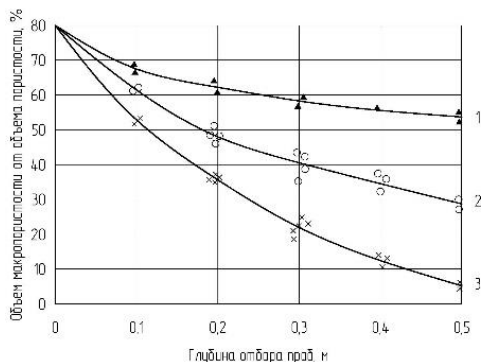


Рисунок 13 – Изменение объема макропор от общей суммарной пористости цементного камня в зависимости от степени пропитки полимерсиликатной композицией: 1 - без пропитки; 2 - пропитка полимерсиликатной композицией; 3 - то же, с добавлением дегидрола

Проверим срок службы монолитной бетонной стенки причала, толщиной 60 см, подверженной гидростатическому напору грунтовой воды, равному 600 см. Содержание цемента в бетоне 300 г/л. При содержании извести в воде $C_H = 0,2$ г/л и коэффициенте фильтрации $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$:

$$T_{\Pi} = \frac{7,5 \cdot 10^{-10} \cdot 300 \cdot 60^2}{1 \cdot 10^{-6} \cdot 600 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 6750 \text{ суток } (> 18 \text{ лет})$$

Повышенные защитные свойства пропиточных составов и покрытий с высокой водо- и морозостойкостью цементных материалов обусловлены снижением коэффициента фильтрации бетона за счет перераспределения структурной пористости цементного камня, выражаемой в снижении макропористости и увеличении объема пор с радиусом менее 500 нм, что находится в зоне невозможной фильтрации воды. Именно эта особенность структуры совместно с физико-химическими свойствами обуславливают высокую водо- и морозостойкость.

В пятой главе (*Опытно-производственная проверка результатов исследования*) рассмотрена технологическая схема производства защиты бетонных конструкций портовых сооружений (рис. 12), расход компонентов полимерсиликатных защитных составов (табл. 6) и определена экономическая эффективность производства защитно-восстановительных работ бетонных портовых сооружений.

Таблица 6 – Расход компонентов полимерсиликатных защитных составов, л

Наименование компонентов	Объем приготавливаемой композиции
	5 литров
Дисперсия ПВА	1,50
Жидкое натриевое стекло (ЖС)	2,25
Суммарный расход ПВА + ЖС	3,75
Отходы ХЦП + АСМС	0,25 + 0,05
Дегидрол	0,50
Растворы наноразмерных добавок - КЗ + УНТ	0,40 + 0,006
Вода	По требованию - до доведения необходимой пластичности смеси

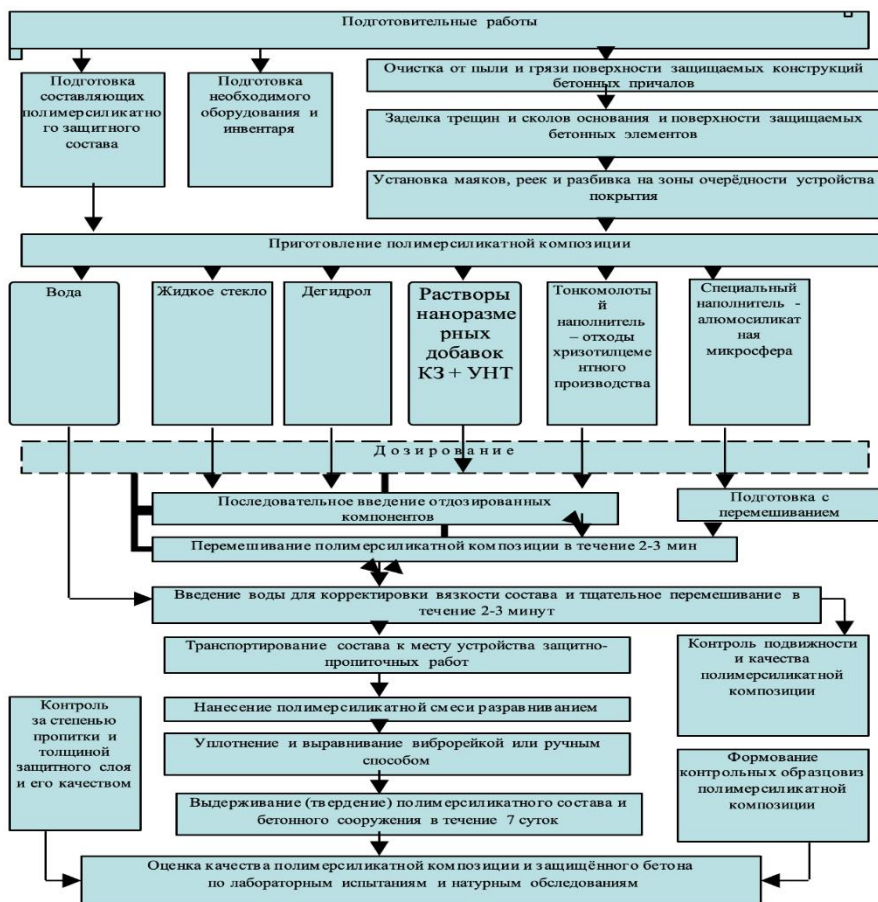


Рисунок 12 – Технологическая схема устройства защитных полимерсиликатных покрытий на бетонных причальных сооружениях

Опытно-производственное внедрение результатов исследований осуществлено при ремонтно-восстановительных работах в речном порту г. Ленск в 2011–2019 г.г.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Установлена высокая пористость и низкая прочность бетона причальных сооружений, подвергнувшихся деструктивным процессам в ходе эксплуатации, что требует неотложных мер по восстановлению работоспособности данных объектов и защите их от дальнейшего разрушения. Предложено разделение качества бетонных сооружений в зависимости от пористости и прочности на три группы, для которых должны быть свои технологические и рецептурные приемы защиты.

2. Наиболее доступным и эффективным вариантом защиты бетона может быть пропитка полимерсодержащими композициями на основе водной дисперсии

поливинилацетата (ПВА) и жидкого натриевого стекла с добавками направленного действия.

3. Определены оптимальные соотношения ПВА и жидкого стекла, и их основные свойства при различной концентрации компонентов: вязкость, глубина пропитки, пористость, прочность, водо-и морозостойкость для защиты бетона с различной степенью деструкции.

4. Показано, что введение в полимерсиликатную композицию минеральной добавки дегидрола обеспечивает проникновение защитно-пропиточной композиции до 0,2–0,4 м вглубь бетонного массива, что обеспечивает сохранность конструкции и возможность длительной эксплуатации.

5. Введение проникающей добавки дегидрол совместно с наноразмерными компонентами позволяет осуществлять регулирование параметров пористости и диффузионной проницаемости бетона, переводя структуру цементного камня в микропористую, что подтверждается дифференциальными кривыми распределения объемов пор по их радиусам с ярко выраженным максимумом, лежащим в области пор с радиусом менее 500 нм, т.е. недоступной для фильтрации воды.

6. Для обеспечения паропроницаемости бетонных массивов причальных сооружений рекомендовано введение в состав полимерсиликатной композиции молотых алюмосиликатных микросфер совместно с отходами хризотилцемента, что дополнительно создает эффект повышенной ударпрочности защищаемым бетонным конструкциям.

7. Определены физико-химические процессы упрочнения бетонных конструкций причалов полимерсиликатной композицией, позволившие оценить качество защитно-пропиточных составов и защищенных материалов. Отмечено снижение водопоглощения в 2,5–3,5 раза, повышение прочности на 25–40 %.

8. Доказана высокая химическая стойкость пропитанных полимерсиликатной композицией бетонов к агрессивному действию растворов кислот (H_2SO_4 , HCl), щелочей (KOH), органических соединений (ацетон) при введении наноразмерных добавок – растворов кремнезоля и углеродных нанотрубок.

9. Проведенный комплекс физико-химических исследований, в т.ч. термомеханические, диффузионные, порометрические, рентгено-фазовый анализ и изучение микроструктуры бетонных образцов портовых сооружений позволил установить различную степень деструкции причальных конструкций; показано, что для различной степени разрушения бетона причальных конструкций и его расположения (надводный, зона переменного уровня воды и подводный) требуются определенные составы защитно-пропиточной композиции в зависимости от пористости и прочности бетона.

10. Разработана технологическая схема проведения защитно-пропитывающих мероприятий непосредственно в условиях работы портовых сооружений, что позволяет обеспечить надежность их функционирования. На основе классических представлений теории прочности причальных сооружений из конгломератных материалов выполнены прогнозные расчеты прочности и долговечности бетонных портовых конструкций, обработанных защитно-пропиточными полимерсиликатными композициями с добавками направленного действия, показавшие эффективность предложенных мероприятий.

11. Разработаны и переданы предприятиям портовых организаций Временные Технические Условия ВТУ 5381-031-00493876-2017 «Полимерсиликатные защитно-пропиточные композиции для повышения эксплуатационных характеристик бетонных и железобетонных речных причальных сооружений», одобренные Техническими Советами и утвержденные руководителями портовых предприятий. Они рекомендованы для широкого внедрения предлагаемых полимерсиликатных составов с наноразмерными добавками направленного действия. На их основании разработаны реальные проекты для портовых предприятий речных бассейнов Сибири.

12. Опытно-промышленное внедрение результатов исследований осуществлено на ряде причальных объектов речных портов Сибири. Определена экономическая эффективность внедрения разработанных защитно-пропиточных полимерсиликатных композиций для восстановления бетонных конструкций портовых сооружений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ

1. **Шаталов А.А.**, Никитенко К.А. Пичугин А.П. Состояние бетонных причалов, эксплуатируемых в суровых условиях Сибири. // Изв.вузов. Строительство, -2018. № 10. С. 71-78.
2. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., **Шаталов А.А.**, Никитенко К.А. Физико-химические исследования процессов коррозионного разрушения бетона причальных сооружений // Изв.вузов. Строительство.2018. № 11. С. 69-77.
3. Хританков В.Ф., Пичугин А.П., Смирнова О.Е., **Шаталов А.А.** Использование наноразмерных добавок в бетонах и строительных растворах для обеспечения адгезии при ремонтных работах // Интеллектуальные системы в производстве. – 2019. Том 17 № 1. – С.131-137.
4. Пичугин А.П., **Шаталов А.А.** Расчет сроков ремонта бетонных причальных сооружений для восстановления их эксплуатационной пригодности // Изв.вузов. Строительство. 2019. № 5. С. 121-129.
5. Пичугин А.П., **Шаталов А.А.** Повышение надежности и прогнозирование срока службы бетонных причальных сооружений // Изв. вузов. Строительство. 2019. № 6. С. 103-111.
6. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Пчельников А.В., **Шаталов А.А.**, Смирнова О.Е. Термомеханические исследования защитно-пропиточных композиций с наноразмерными специальными добавками. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 3. – С. 53-58.
7. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пчельников А.В., **Шаталов А.А.** Реконструкция водогрязелечебницы архитектурного ансамбля курорта «Озеро Карачи»// Жилищное строительство. 2021. № 1-2. – С. 26-33.

Публикации в других научных изданиях

1. **Шаталов А.А.**, Пичугин А.П., Пчельников А.В. Защитные композиции бетонных причальных сооружений. Монография // А.А. Шаталов, А.П. Пичугин, А.В. Пчельников. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2022. – 160 с.
2. Пичугин А.П., Балаш В.В., **Шаталов А.А.** Коррозия монолитного бетона причальных сооружений // Ресурсы и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении. Международный сб.научн.тр. НГАУ-РАЕН-АПК,- Новосибирск, 2016. – С. 180-185.
3. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., **Шаталов А.А.**, Балаш В.В. Технология защиты бетонных и железобетонных причальных конструкций, эксплуатируемых в суровых климатических условиях // Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении. Международный сб.научн.тр. НГАУ-РАЕН-АПК,- Новосибирск, 2017. – С. 234-237.
4. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Кудряшов А.Ю., **Шаталов А.А.** Алешкевич К.А. Полимерсиликатные покрытия для защиты гидротехнических и сельскохозяйственных сооружений // Физико-химические процессы в строительном

материаловедении. Международный сб. научн. тр. НГАУ-РАЕН-АПК, 2018. – С. 211-216.

5. **Шаталов А.А.**, Никитенко К.А., Пичугин А.П. Оценка коррозионных процессов в бетонных сооружениях // В сб. научн. тр. Междун. научн. конф. Моделирование композитов, Одесса, 2018. – С. 122-127.

6. Пичугин А.П., Кудряшов А.Ю., Никитенко К.А., **Шаталов А.А.** Установление зависимости между прочностью материалов стен, пропитанных полимерными композициями, и удерживающей способностью крепления навесных фасадных систем зданий // Научный Интернет-журнал, Казань, КГАСУ, 2018. – С. 49-56.

7. Пичугин А.П., **Шаталов А.А.**, Никитенко К.А., Алешкевич М.Г. Защитно-декоративные составы для обеспечения долговечности зданий и сооружений // Повышение качества и эффективности строительных и специальных материалов. Международный сб. научн. тр. НГАУ-РАЕН-АПК, 2019. – С. 194-201.

8. **Шаталов А.А.**, Пичугин А.П., Бик Ю.И. Процессы коррозии бетона и возможности восстановления его работоспособности // Повышение качества и эффективности строительных и специальных материалов. Международный сб. научн. тр. НГАУ-РАЕН-АПК, 2019. – С. 33-38.

9. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., **Шаталов А.А.** Моделирование защиты бетонных причальных сооружений полимерсиликатными композициями с добавками // В сб. научн. тр. Междун. научн. конф. Моделирование композитов, Одесса, 2019. – С. 144-146.

10. Пичугин А.П., Смирнова О.Е., **Шаталов А.А.** Полимерсиликатные составы с наноразмерными добавками для защиты бетонных конструкций причальных сооружений // Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России. Труды Всероссийской научн. конф. с международным участием. / Новокузнецк, СГИУ. – 2019. - С. 127-130.

11. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., **Шаталов А.А.** Моделирование защиты бетонных сооружений полимерсиликатными композициями // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса // Материалы национальной научно-практич. конф. Хабаровск, ТГУ. - 2019. – С. 176-180.

12. Пичугин А.П., **Шаталов А.А.**, Никитенко К.А. Защитно-пропиточные композиции повышенной стойкости // Качество и инновации – основы современных материалов и технологий / Материалы Всероссийской научн. конф. с международным участием. / Новосибирск, НГАСУ-КНАУФ. – 2019. – С. 117-122.

13. Чесноков Р.А., **Шаталов А.А.**, Язиков И.К., Пичугин А.П. Выбор устройства для укрепления откосов транспортных сооружений // Эффективные материалы и технологии для транспортного и сельскохозяйственного строительства. Международный сб. научн. тр. НГАУ-РАЕН-АПК, 2020. – С. 278-280.

14. **Шаталов А.А.**, Пичугин А.П., Кудряшов А.Ю., Минаев А.П., Мишутин А.В. Методы повышения долговечности бетона портовых сооружений // Сб. научн. тр. Повышение качества и эффективности строительных и специальных материалов. 2019. – С. 122-125.