

2015-100

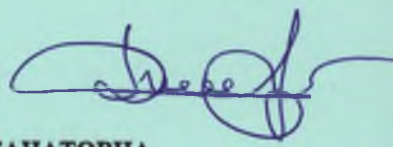
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ им. Н.ИСАНОВА**

**И КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Б.ЕЛЬЦИНА**

Диссертационный совет Д 05.14.495

На правах рукописи  
УДК 626:624.013



**ДЖАНУЗАКОВА РАУШАН ДЖАНАТОВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ**

05.23.07 – Гидротехническое строительство

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

**БИШКЕК – 2015**

Работа выполнена в Таразском государственном университете  
им. М.Х.Дулати

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Б.А. Алимбаев

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
К.К. Бейшекеев

кандидат технических наук, доцент  
Г.И. Логинов

Ведущая организация: Казахский Национальный аграрный  
университет  
Республика Казахстан

Защита состоится «30» марта 2015 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании  
диссертационного совета Д 05.14.495 при Кыргызском государственном  
университете строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова и  
Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Ельцина по адресу:  
720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34 б; факс: (996 312) 543 561

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского  
государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им.  
Н. Исанова и Кыргызско-Российского Славянского университета им.  
Б.Н.Ельцина.

Автореферат разослан \_\_\_\_ февраля 2015г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
к.т.н., доцент



Л.В. Ильченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Металлические конструкции гидротехнических сооружений эксплуатируются в сложнейших условиях. На элементы погруженных затворов действует большое разнообразие нагрузок. Наряду со статическими нагрузками на элементы металлических конструкций при открытии и закрытии затвора могут действовать гидродинамические нагрузки, которые вызывают вибрацию конструкции. В таких случаях потеря несущей способности элементов металлических конструкций гидротехнических сооружений может произойти наряду с потерей прочности и устойчивости и в связи с усталостным разрушением, а также в результате происходящих геометрических изменений, т.е. в результате качественного изменения конфигурации металлических конструкций может наступить предельное состояние относящейся к первой группе. Кроме этого на них также действует вредоносная коррозия металла.

В Республике Казахстан на содержание гидротехнических сооружений, в том числе для проведения исследовательских и ремонтных работ при усилении элементов несущих металлических конструкций выделяются недостаточные средства. Это было установлено в результате проверки генеральной прокуратуры РК.

Происходящие аварии и катастрофы на гидротехнических сооружениях в мире показывают, что последствия аварий и катастрофы могут быть очень сложными как в процессе сохранения жизни людей, так и в материальном плане. Например, в результате катастрофы, произошедшей в Саяно-Шушенской ГЭС погибло около 80 человек, а материальные затраты исчисляются миллиардами долларов США. В результате катастрофы, произошедшей на платине Кызыл-Агаш в Алматинской области число людских жертв дошло до 45, а материальные затраты только для восстановления жилищных условий составили более 8 млрд. тенге. А недавняя авария на плотине Кокпекты в Карагандинской области унесла жизни 5 человек, а стоимость восстановления плотины еще не определена.

За состоянием гидротехнических сооружений в Казахстане ведется постоянное наблюдение. Вместе с тем, в весенний период во время прохождения паводковых вод, происходят разрушения мостов и других водопропускных сооружений, что вызывает массу неблагоприятных условий для нормального жизнеобеспечения людей. Подобные явления носят чрезвычайный характер, и полностью исключить их нельзя, но количество подобных явлений уменьшить можно. Постоянное наблюдение за состоянием гидротехнических сооружений, в том числе и за состоянием металлических конструкций позволяет уменьшить число аварий. При проведении обследований металлических конструкций необходимо установить элементы металлических конструкций, которые необходимо усилить. Металлические конструкции гидротехнических сооружений запроектированы надежно. Во многих случаях ремонтпригодность конструкций остается высокой и поэтому,

во время принятые меры позволяют исключить аварии и катастрофы в связи с потерей несущей способности металлических конструкций.

Долговечность металлоконструкций гидротехнических сооружений в значительной мере зависит от коррозионной агрессивности воды. Хотя причины недостаточной надежности и долговечности многочисленны и не ограничиваются коррозионным износом, есть большая группа сооружений, где фактор агрессивности среды определяет долговечность металлических конструкций. К ним относятся металлические конструкции гидротехнических сооружений.

**Связь темы диссертации с научными программами, основными научно-исследовательскими работами, проводимыми научными учреждениями.** Диссертационные исследования были связаны с реализацией планов научно-исследовательского центра «Сенімділік» Таразского государственного университета им. М.Х.Дулати по исследованию гидротехнических сооружений в Жамбылской области в 2005-2014 г.г.

**Целью работы** является исследование усиления элементов металлических конструкций гидротехнических сооружений и влияние ферромагнитных свойств на развитие коррозии в них.

Для достижения поставленной цели было намечено решить следующие задачи:

- выполнить теоретические исследования показывающие эффективность принимаемых конструктивных решений по усилению металлических конструкций гидротехнических сооружений;
- провести экспериментальные исследования для проверки эффективности принятых конструктивных решений по усилению элементов металлических конструкций гидротехнических сооружений, а именно:

1. Применение тензометрического способа измерения деформаций и напряжений в элементах металлических конструкций гидротехнических сооружений.

2. Применение атопологического способа для оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений.

3. Применение электромагнитного способа для оценки напряженного состояния усиленных конструкций гидротехнических сооружений.

- исследование и определение роли магнитных сил при коррозии элементов металлических конструкций;

- разработка рекомендаций по повышению надежности металлических конструкций.

**Научная новизна полученных результатов:**

- предложен новый атопологический способ оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений;

- предложен новый электромагнитный способ оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений;

- установлена и определена роль магнитных сил, влияющих на процесс коррозии ферромагнитных изделий;

- разработаны рекомендации по повышению надежности металлических конструкций.

**Практическая значимость полученных результатов** заключается в разработке рекомендаций по проектированию усиления элементов металлических конструкций гидротехнических сооружений, позволяющие повысить надежность этих конструкций.

Результаты исследований применяются в учебном процессе на кафедре «Строительные материалы и конструкции» Таразского государственного университета имени М.Х.Дулати.

**Экономическая значимость полученных результатов.** Основные результаты исследований реализованы ГКП «Аса-Талас» и в хозяйствах подведомственных Жамбылского филиала ТОО «Казфосфат». Внедрение разработанного способа покрытия металлических конструкций антикоррозионным покрытием способствовало получению годового экономического эффекта 650 тыс. тенге.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- новый атопологический способ оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений;

- новый электромагнитный способ оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений;

- результаты исследования механизма развития коррозии в металлических конструкциях, с учетом их ферромагнитных свойств;

- рекомендации по повышению надежности металлических конструкций.

**Личный вклад соискателя** состоит в разработке новых способов оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений, рекомендаций по повышению их надежности, анализе и обобщению литературных данных, выводов и заключений.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы апробировались: на международной научно-практической конференции «Проблемы водного хозяйства» (Тараз – 2006), на международной научно-практической конференции «Современные проблемы рационального использования водных ресурсов в Казахстане» (Тараз – 2011), на международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие Казахстана - проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности» (Атырау – 2012 г.).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** Материалы диссертационного исследования изложены в 12 научных работах, опубликованных в научных изданиях Республики Казахстан и Кыргызской Республики. Получено 2 инновационных патента на изобретение Республики Казахстан.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, практических рекомендаций, приложений и списка использованной литературы, содержащего 115 наименований. Общий объем диссертации составляет 181 страниц компьютерного текста, с 55 рисунками, 4 таблицами, 2 приложениями.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, определены основные научные положения, выносимые на защиту, дана краткая характеристика работы.

В первой главе диссертации дан анализ современного состояния изученности вопроса и определены задачи дальнейших исследований.

Рассматриваются принципы установления надежности и долговечности, оценка состояния элементов металлических конструкций гидротехнических сооружений и причины снижения долговечности, анализ исследований коррозии металлических конструкций гидротехнических сооружений.

Поддержание в работоспособном состоянии металлических конструкций – это залог долговечной эксплуатации. Долговечность объекта, сооружения зависит от срока службы составляющих элементов. Элементы, составляющие гидротехнические сооружения, могут характеризоваться как одинаковой, так и различной надежностью и долговечностью.

Высокий уровень надежности и долговечности может быть достигнут только в результате совместной работы проектировщиков и производственников на всех этапах создания, эксплуатации и ремонта объектов. Недостаточная надежность объектов гидротехнических сооружений в ряде случаев обусловлена тем, что надежность и долговечность не относятся к показателям, по которым оценивается работа организации.

Одна из основных задач экономики на современном этапе — улучшение использования производственных фондов. Повышение качества, надежности, долговечности сооружения является первостепенной задачей.

Одной из основных причин снижения долговечности металлических конструкций является разрушение металлов от коррозии. Вопросы борьбы с коррозией остаются весьма актуальными. Для снижения потерь в результате коррозии и повышения, тем самым долговечности сооружений, вопросы об их защите должны решаться еще на стадии проектирования с тем, чтобы при строительстве применялись конструкции с головными защитными покрытиями, выполняемыми в заводских условиях.

Исследованием и разработкой в этом направлении занимались Мирцхулава Ц.К., Фрейшист А.Р., Мартенсон И.В., Розина И.Д., Лашенко М.Н., Абросимов В.Г., Бандин О.Л., Гусенков А.П., Когаев В.П., Гавриш В.С., Простак В.Ф., Химин В.Н.

Значительный вклад в развитие по исследованию коррозии металлических конструкций гидротехнических сооружений внесли учёные: Томашов Н.Д., Ханларова А.Г., Трифель М.С., Штерн Е.П., Ахмедов Г.М., Масольд В.Я., Кочетков Ю.А., Спиринов А.А., Шихалиев Ю.З., Складнев М.Ф., Эдель Ю.У., Налимов С.М., Рейзин Б.Л., Стрижевский И.П., Рощина З.В., Кузнецов В.В., Вержбицкая Л.В., Кадек В.М., Габов Н.И., Айвазов Б.Ю., Карпенко Г.В., Улиг Г.Г., Ревн Р.У.

Среди казахстанских ученых, занимавшихся исследованиями в данных областях, следует выделить Алимбаева Б.А.

Приведено краткое описание аварий и отказов из истории строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений из-за снижения надежности. А также был приведен анализ исследований напряженно-деформированного состояния металлических конструкций гидротехнических сооружений. А в заключении первой главы были сформулированы цель и задачи диссертационного исследования

Во второй главе приведены экспериментальные методы усиления металлических конструкций гидротехнических сооружений.

Экспериментальные неразрушающие методы измерения напряжений основаны на измерении деформации элементов конструкции различными тензодатчиками. Во многих случаях невозможно фиксировать приращение деформаций, так как элемент может находиться в предельном состоянии, и нагружение пробной нагрузкой может довести элемент конструкции до разрушения. В связи с этим появляется нужда измерения имеющихся напряжений в нагруженных элементах изделий, чтобы в дальнейшем проводить неразрушающий контроль материалов, правильно и безопасно эксплуатировать элементы изделий.

Предложен тензорезисторный способ измерения напряжений, отличающийся тем, что вначале снимают показание индикаторного прибора нагруженного элемента изделия, затем снимают показание индикаторного прибора, точно такого незагруженного эталонного элемента изделия и по разности показаний определяют величину напряжений в нагруженном элементе изделия.

Тензорезисторный способ измерения напряжений в элементах изделий производился следующим образом. На нагруженный элемент изделий клеится один из типов тензорезисторов и измеряется напряжение с помощью индикаторного прибора. После этого на точно такой, только незагруженный эталонный элемент изделий клеится одинаковый тензорезистор и берётся показание индикаторного прибора. По разности показания индикаторных приборов определяют величину напряжений в нагруженных элементах изделий.

Для исследования тензорезисторного способа измерения напряжений был проведен эксперимент, для чего нами была выбрана стальная балка равного сопротивления. Испытание образца производилось с помощью экспериментальной механической установки, на которой осуществлялись изгиб балки нагружением грузами. Установка состоит из: станины, жесткозакрепленной опоры, консольной балки равного сопротивления, предназначенной для испытания. Производились статические испытания. В нашем эксперименте использовался проволочный тензорезистор, общего назначения с многоэлементной петлевой решеткой на бумажной основе — ППКП-20-203. Регистрация данных в ходе испытаний и обработка полученной информации осуществлялись с помощью программно-аппаратного комплекса

«ЭРА-ПРИС», созданного специалистами РГП КазНИИССА (г. Алматы) на базе системы «ПРИС-1000», разработанной и сертифицированной НТЦ «Техническая диагностика и прецизионные измерения».

Для осуществления на практике предложенного тензорезисторного способа измерения напряжений в элементах изделий имеются несколько проблем. К ним относятся: отыскание эталонного образца, недостаточная база измерения тензорезисторов, которая не позволяет охватить всю измеряемую длину элемента изделий.

Далее предложен **атопологический способ** измерения напряжений в нагруженных элементах изделий, например, нагруженной металлической балки производится следующим образом. Во-первых, снимают показания индикаторных приборов еще не заклеенного тонкого листа из электронепроводящих материалов с заранее наклеенными тензорезисторами. После этого на поверхность испытываемой нагруженной металлической балки заклеивают этот тонкий лист из электронепроводящих материалов с заранее наклеенными тензорезисторами. В результате атопологического воздействия в тензорезисторах изменяются омические сопротивления, которые фиксируются индикаторным прибором.

По разности показаний индикаторных приборов определяют величину напряжения в нагруженной металлической балке до, и после наклейки тонкого листа. Затем с помощью закона Гука определяют напряжение в нагруженной металлической балке.

Таким способом можно измерять напряжения в нагруженных элементах изделий, когда невозможно найти незагруженный эталонный образец изделия. Он может быть использован при измерении механических напряжений в элементах изделий применяемых в машиностроительной, строительной и других отраслях промышленности.

Среди физических методов измерения внутренних напряжений в элементах стальных конструкций наиболее перспективным является **электромагнитный метод**. В этом случае информацию о напряженном состоянии исследуемых объектов получают путем замера изменения характеристик электрических и магнитных свойств, которые зависят, в свою очередь, от деформации кристаллической решетки.

При оценке эффективности усиления элементов металлических конструкций гидротехнических сооружений электромагнитным методом принимаются следующие допущения:

- изменения магнитных свойств элементов усиления металлических конструкций при выполнении технологических операции по усилению незначительны или ими можно пренебречь;

- изменение напряженного состояния сравнительно небольшого объема материала, выделяемого из элемента конструкций для установления тарировочной зависимости между напряжением и изменением магнитных свойств материала конструкции, не существенны;

- магнитно-упругие свойства материала усиления металлических конструкций сохраняются постоянными.

Электромагнитный метод для оценки напряженного состояния усиленных конструкций гидротехнических сооружений имеет неоспоримое преимущество перед другими методами и способами. Полученные при этом значения напряжений в усиленных элементах металлических конструкций показывают высокую точность измерительной системы электромагнитного метода.

**Третья глава** посвящена исследованию процесса развития коррозии в элементах металлических конструкций с учетом их магнитных свойств.

К металлам, в которых при низких температурах осуществляется ферромагнитное состояние, относятся Fe, Co, Ni, некоторые редкоземельные металлы, многие сплавы и соединения. Ферромагнетики представляют собой очень сильно магнитные вещества по сравнению с пара-и диамагнетиками, так как возникающая в них намагниченность оказывается на много порядков больше. Эта особенность хорошо обнаруживается в явлении магнитного гистерезиса.

В ферромагнитных веществах элементарными магнитами являются вращающиеся вокруг своей оси электроны – спины. Спины, будучи расположены в узлах кристаллической решетки и взаимодействуя друг с другом, создают внутреннее поле, которое в отдельных мелких участках ферромагнитного кристалла (эти участки называют доменами) поворачивают все спины в одну сторону, так что каждый такой участок (домен) оказывается спонтанно (самопроизвольно) намагниченным до насыщения.

Недостатком всех предложенных механизмов является не учет того факта, что элементы стальных конструкций являются ферромагнитными материалами, в которых в нормальных условиях существуют доменные структуры. Это указывает на то, что до этого времени, никто не учитывал ферромагнитные свойства стали при изучении коррозии, и это было недоработкой исследователей.

В отличие от существующих механизмов развития коррозии был предложен один из вариантов механизма развития коррозии в элементах стальных конструкций, с учетом их ферромагнитных свойств.

Адсорбция коррозионно-активных веществ из водной среды влияет на уменьшение сродство поверхностных атомов поверхностей стальных конструкций. Под действием различных нагрузок и ударов на ослабленных адсорбцией поверхностях стальных конструкций появляются трещины.

Элементы стальных конструкций являются ферромагнитными материалами, состоящими из доменных структур. В свою очередь, появившиеся трещины и дефекты повреждают доменные структуры в ферромагнитных материалах, в которых при повреждении изменяются магнитные характеристики.

При нарушении доменной структуры стали, происходит разделение доменов на части (рис. 1), из-за этого в концах трещин начинают создаваться магнитные полюса, а между ними действовать магнитное поле.

Как известно, на заряды, движущихся в магнитном поле, созданными от нарушенных структур ферромагнитных доменов, то есть между краями трещин, действует сила Лоренца (рис.2), описываемая по формуле

$$\vec{F}_L = q \cdot [\vec{v} \cdot \vec{B}], \quad (1)$$

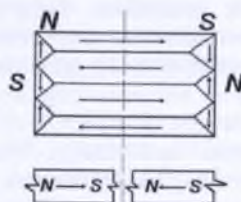


Рис. 1. Схема разрушения доменной структуры

В коррозионной среде (вода, влага) присутствуют молекулы воды  $H_2O$ , ионы гидроксония  $H_3O^+$  и гидроксила  $OH^-$ . Перемещение ионов в среде происходит по особому, так называемому эстафетному механизму, который состоит в том, что между ионами гидроксония  $H_3O^+$  и молекулами воды, а также между молекулами воды и ионами  $OH^-$  непрерывно происходит обмен ионами водорода  $H^+$ . Под действием силы Лоренца происходит разделение ионов с разными знаками, это способствует дополнительному появлению между краями трещин ионов водорода  $H^+$  и гидроксил-ионов  $OH^-$ , то есть диссоциации воды (влаги).

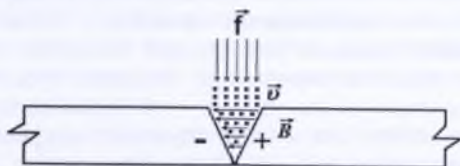


Рис. 2. Направления силы Лоренца, скорости движения ионов и магнитного поле касательно трещины в доменной структуре

Кроме этого, сила Лоренца играет важную роль при абсорбции частиц из коррозионной среды. Особенно, интенсивно будут поглощаться трещинами положительные ионы по направлению силы Лоренца. На ионы  $q$  движущиеся с определенной скоростью  $v$  в магнитном поле  $B$  действует сила Лоренца  $F_L$ , которая старается повернуть ионы в перпендикулярном направлении (рис.2). За счет силы Лоренца действующей в этом магнитном поле ионы водорода  $H^+$  и гидроксил-ионы  $OH^-$  будут притягиваться к краям трещины как к полюсам магнита (рис.3).

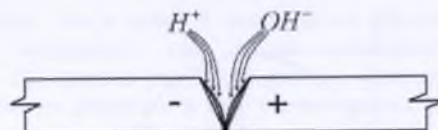
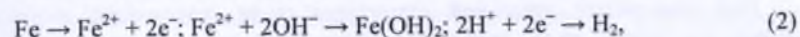


Рис. 3. – Наполнение трещины доменной структуры ионами  $H^+$  и  $OH^-$

После прохождения физического процесса начинается химический процесс, т. е. реализуется этап развития трещин – их коррозионное зарождение. В трещине из-за недостатка кислорода активно протекает реакция



В результате химической реакции образуется гидроксид железа (II), который создает пленку. Она наполняет образовавшиеся трещины (рис.4), что приводит к замедлению или завершению выше приведенных физических и химических процессов, то есть к пассивации металла. Также, в данном случае активно восстанавливается и абсорбируется водород.

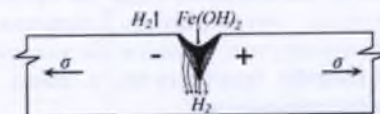


Рис. 4. Образованная пленка из гидроксида железа (II) в трещине и восстановление ионов водорода

На основе предложенного механизма развития коррозии были исследованы развития коррозии в **растянутых и сжатых зонах** элементов металлических конструкций. Для пояснения этого явления рассмотрены проявления магнитоупругих эффектов, происходящие в элементах металлических конструкций обладающих ферромагнитными свойствами. Рассмотрен пример поликристаллического ферромагнетика с положительной магнитоустрикцией.

В структуре стали при **растягивающих** напряжениях происходит скачкообразный поворот доменов по направлению действующего растягивающего напряжения, то есть поворачиваются все векторы спонтанной намагниченности домена. Когда поворот всех доменов заканчивается, то завершается и упругая стадия работ ферромагнитного материала, а при дальнейшем увеличении напряжений в ферромагнитном материале происходят необратимые процессы, и он работает в упруго-пластической стадии (рис.5). На этой стадии работы ферромагнитного материала под действием растягивающих напряжений происходит нарушение доменной структуры.

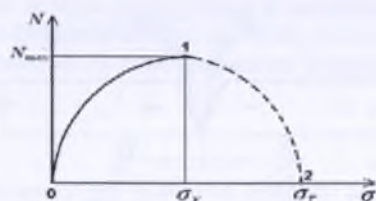


Рис. 5. Зависимость интенсивности развития коррозии от напряженного состояния в растянутых элементах металлических конструкций

При нарушении доменной структуры стали, происходит разделение доменов на части, из-за этого в концах трещин начинают создаваться магнитные полюса, а между ними действовать магнитное поле. При этом на поверхности элементов из стали появляются микротрещины, которые пересекают домены, и число растрескиваемых доменов увеличивается в  $N$  раз, равный числу повернутых доменов. На рисунке 5 видно, что в точке 1 завершается упругая  $\sigma_y$  стадия работы ферромагнитного материала, где число поворачиваемых доменов максимально  $N_{max}$ . До предела упругости работы ферромагнитного материала интенсивность развития коррозии в них увеличивается с числом повернутых доменов по направлению действующих напряжений. Далее до предела текучести  $\sigma_T$  в точке 2 процесс коррозии ферромагнитного материала снижается.

В структуре стали при **сжимающих** напряжениях происходит скачкообразный поворот доменов по направлению действующего сжимающего напряжения, то есть поворачиваются все векторы спонтанной намагниченности домена. Когда поворот всех доменов заканчивается, то завершается и упругая стадия работ ферромагнитного материала, а при дальнейшем увеличении напряжений в ферромагнитном материале происходят необратимые процессы, и он работает в упругопластической стадии (Рис.6). На этой стадии работы ферромагнитного материала под действием сжимающих напряжений происходит нарушение доменной структуры.

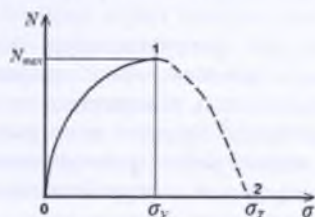


Рис. 6. Зависимость интенсивности развития коррозии от напряженного состояния в сжатых элементах металлических конструкций

На рис.6 видно, что в точке 1 завершается упругая  $\sigma_y$  стадия работы ферромагнитного материала, где число поворачиваемых доменов максимально  $N_{max}$ . До предела упругости работы ферромагнитного материала интенсивность развития коррозии в них увеличивается с числом повернутых доменов по направлению действующих напряжений. Далее до предела текучести  $\sigma_T$  в точке 2 процесс коррозии ферромагнитного материала снижается.

Многочисленные данные показывают, что в **изгибаемых элементах** коррозия начинается в растянутой зоне металлических конструкций. В изгибаемых ферромагнитных элементах появляется эффект поперечного намагничивания (рис.7), который появляется в перпендикулярном направлении к оси изгибаемых элементов. Здесь векторами отмечены результирующие вектора спонтанной намагниченности в ферромагнитных изделиях с положительной магнитострикцией. Таким образом, в растянутой зоне изгибаемых элементов домены располагаются перпендикулярно к прогибу.

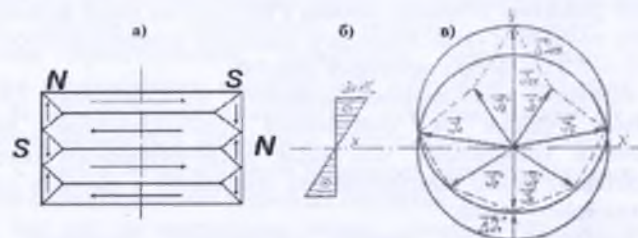


Рис. 7. Проявления эффекта поперечного намагничивания при изгибе ферромагнитных изделий с положительной магнитострикцией  
 а - начальная доменная структура в ферромагнетике; б - эпюра напряжений; в - изменение векторов после изгиба ферромагнетиков  
 Ось абсцисс - продольная ось изгибаемого элемента; ось ординат - направление, коллинеарное изгибу

Под действием растягивающих напряжений в растянутой зоне появляются микротрещины в перпендикулярном направлении к направлению векторов спонтанной намагниченности доменов. Это в свою очередь приводит к нарушению, т.е. разделению доменов ферромагнитных изделий. Дальше происходят установленные нами физико-химические процессы развития коррозии в элементах металлических конструкций. Стоит отметить, что в появившихся трещинах при изгибе ферромагнитных изделий направления сил Лоренца  $F_L$  и вектора эффекта поперечного намагничивания  $\vec{J}_{non}$  совпадают и направлены перпендикулярно к оси изгибаемых элементов (рис.8).

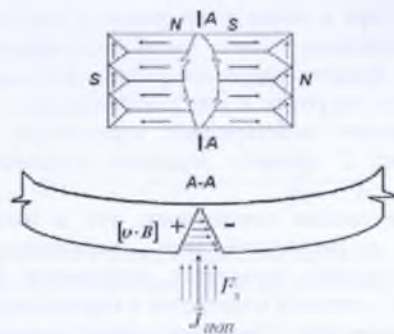


Рис. 8. Расположения доменов в микротрещинах растянутой зоны изгибаемых элементов

Данное совпадение векторов показывает, что это явление способствует интенсивному развитию коррозии именно в растянутых зонах ферромагнитных изделий. Зона появления силы Лоренца в основном концентрируется в средней части растянутой зоны ферромагнитных изделий.

При натурном обследовании элементов металлических конструкций промышленных зданий и сооружений принадлежащие химической промышленности установлено, что возле технологического оборудования коррозия протекает более интенсивно, по сравнению с другими элементами металлических конструкций.

Для пояснения этого явления рассмотрены магнитные процессы, происходящие в элементах металлических конструкций, обладающих ферромагнитными свойствами. По нашему мнению, под действием остаточной намагниченности все домены в структурах ферромагнитных изделий будут направлены в одну сторону. От действующих нагрузок на поверхности элементов металлических конструкций появляются микротрещины, которые пересекают домены, и число растрескиваемых доменов увеличивается в  $N$  раз, где  $N$  – число доменов на поверхности металла. Из-за нарушения доменной структуры стали, в концах трещин начинают создаваться магнитные полюса, а между ними действовать магнитное поле. Дальше происходит установленные нами физико-химические процессы развития коррозии в элементах металлических конструкций.

Борьба с коррозией стальных труб, применяемых на различных объектах промышленности, заключается в нанесении изоляционных покрытий как внутрь труб, так и снаружи. При этом не уделяется внимание на особенности развития коррозии на **криволинейных участках стальных труб**.

Многолетние наблюдения за развитием коррозии показали, что на криволинейных участках стальных труб различного назначения развитие коррозии происходит более интенсивнее, чем на прямолинейных участках. В криволинейных участках стальных труб на подвижные частицы (газы,

нефтепродукты, вода или другие жидкости), имеющие определенную массу, действует центробежные силы. Эти частицы, действуя механически, открывают закрытые первичными продуктами коррозии трещины стальных труб и способствуют дальнейшему развитию коррозии в них.

Для доказательства были произведены замеры толщин стенок стальных труб, как на прямолинейных участках, так и на криволинейных участках. Сопоставление результатов замера стенок труб показало, что в криволинейных участках стальных труб коррозия развивается в 2,67 раза быстрее, чем в прямолинейных участках, что доказывает ранее приведенные нами суждения.

**В четвертой главе** приведены рекомендации по повышению долговечности металлических конструкций, экспериментальное определение коэффициента долговечности принимающегося в зависимости от коррозии металлических конструкций, состояние надежности металлических конструкций Ассинского гидроузла, состояние надежности металлических конструкций Кызылординского гидроузла.

Повышение долговечности металлических конструкций гидротехнических сооружений, то есть их эффективную защиту от коррозии можно осуществить с помощью комплекса мероприятий, который включает: современное качественное проектирование, правильную эксплуатацию и контроль надежности металлических поверхностей, избежание появления реоменных структур на металлических поверхностях, отделение металла от агрессивной среды антикоррозионным покрытием, электрохимический метод защиты от коррозии. С учетом установленного механизма развития коррозии, предложен следующий способ нанесения защитных покрытий:

- перед тем как на поверхность нового элемента стальной конструкции гидротехнических сооружений наносится покрытие в заводских условиях, зная по опыту эксплуатации данного элемента его напряженно-деформированную работу, максимально допустимо нагружаем его нагрузкой приближенной к натурным условиям. При этом на его поверхности должны появиться полосы скольжения, дислокации, трещины, неоднородности, дефекты и другие повреждения;
- удерживая элемент в данном состоянии, тщательно наносим на его поверхность первый слой антикоррозионного покрытия, контролируя при этом заполнение покрытием всех образованных трещин и дефектов, и высушиваем его в соответствии со всеми требованиями;
- после этого снимаем нагрузку, проверяем качество покрытия, и наносим второй слой антикоррозионного покрытия на всю поверхность;
- проверяем качество покрытия и при необходимости опять повторяем вышеуказанные мероприятия.

При выполнении вышеуказанных мероприятий по нанесению защитных покрытий, нагруженные в натуральных условиях и водной среде поверхности стальных конструкции гидротехнических сооружений будут защищаться эффективнее и увеличится их долговечность. Так как, при растягивающих нагрузках ранее образованные при нанесении покрытия в заводских условиях



трещины и дефекты будут заполнены покрытием, то это не позволит адсорбироваться агрессивным веществам из водной среды, которые способствуют интенсивной коррозии.

Для экспериментального определения коэффициента долговечности, принимающегося в зависимости от коррозии металлических конструкций гидротехнических сооружений было обследовано подвергание коррозии металлических конструкций Ассинского гидроузла в Жамбылской области.

Определенный коэффициент долговечности может использоваться при проектировании металлических конструкций гидротехнических сооружений, с учетом, того, что конструкция имеет определенную защиту от коррозии и что, там происходит исключительно равномерная коррозия. Его можно использовать в сравнительно новых, проектируемых и строящихся гидросооружениях, так как, во всех этих сооружениях воздействия коррозии учтены, имеется комплекс защиты от нее, и предполагается, что там коррозия имеет равномерный характер.

Если коррозия конструкции имеет локальный характер, то есть имеет коррозионные язвы, трещины и другие локальные повреждения требуется выполнять дополнительные специальные расчеты, учитывающие площадь коррозионного повреждения и основные факторы коррозии.

В результате обследования установлено, что все сегментные затворы Ассинского и Кызылординского гидроузла сохранили свою ремонтпригодность, что доказывает их высокую надежность. Для надежной и долговечной эксплуатации Ассинского и Кызылординского гидроузлов требуется выполнить комплекс ремонтных мероприятий.

### ВЫВОДЫ

Диссертационная работа посвящена определению путей повышения надежности и долговечности элементов металлических конструкций гидротехнических сооружений, работающих под напряжением в водной среде, на основе исследования магнитных свойств ферромагнитных изделий, которыми являются эти конструкции. В результате проведенных исследований сформулированы следующие основные **выводы**:

1 Сделанный анализ показывает, что для обеспечения безопасности металлических конструкций гидротехнических сооружений необходим контроль надежности и долговечности этих сооружений. Контроль надежности и долговечности осуществляется с помощью современных методов измерения деформаций и напряжений в элементах металлических конструкций гидротехнических сооружений.

2 Применение тензометрического, атопологического или электромагнитного методов измерения деформаций и напряжений в элементах металлических конструкций гидротехнических сооружений могут показать хорошие результаты. Однако атопологический метод для оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений более удобен, чем тензорезисторный способ. Тем не менее,

электромагнитный метод для оценки напряженного состояния усиленных конструкций гидротехнических сооружений имеет неоспоримое преимущество перед другими методами и способами. Результаты эксперимента с помощью электромагнитного метода показали, что напряжение в усиленной балке было равно 40,75 мПа, теоретическое значение - 41,8 мПа, относительная погрешность составляет - 2,51 %. Таким образом, полученное значение напряжений в усиленных элементах металлических конструкций показывает высокую точность измерительной системы.

Фактический годовой экономический эффект от мероприятий по измерению напряжений в металлических конструкциях составил 650 тыс. тенге (Акт внедрения).

3 Во всех проведенных исследованиях по коррозии не учтен тот факт, что металлические конструкции являются ферромагнитными изделиями, в которых в нормальных условиях существуют доменные структуры. На коррозию металлических конструкций влияют магнитные свойства металлов.

4 Развитие коррозии в растянутых и в сжатых элементах металлических конструкций зависит от напряженного состояния, при напряжениях до предела упругости процесс зависит от числа доменов повернутых по направлению действующих напряжений. Развитие коррозии в изгибаемых элементах металлических конструкций начинается и превалирует в средней части их растянутой зоны, где в основном концентрируется зона появления силы Лоренца. Скорость развития коррозии вокруг технологического оборудования, имеющие электропроводные многожильные обмотки, выше, чем на других участках элементов металлических конструкций. В криволинейных участках стальных труб внутренняя коррозия развивается 2,67 раза быстрее, чем в прямолинейных участках.

5 Экспериментально определены коэффициенты долговечности  $\gamma_{\text{долг.}} = 1,1$ , принимающиеся в зависимости от характера коррозии металлических конструкций гидротехнических сооружений, на примере обследования Ассинского гидроузла в Жамбылской области. Эти коэффициенты используются при расчете коэффициентов надежности  $\gamma_{\text{над.}}$  и надежности по материалам  $\gamma_{\text{мат.}}$ , которые используются для расчета металлических конструкций гидротехнических сооружений по предельным состояниям.

6 С учетом установленного механизма развития коррозии под напряжением, предложен способ нанесения защитных покрытий, основанный на нанесении слоя антикоррозионного покрытия на поверхность металлической конструкции в заводских условиях с его предварительным напряжением и приложением нагрузки.

**СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Алимбаев Б.А. Надежность металлических конструкций и механического оборудования в гидротехнических сооружениях [Текст] / Алимбаев Б.А., Джанузакова Р.Ж. // Поиск. - Алматы, 2006. - №1. - С.278-280.
2. Алимбаев Б.А. Средства и методы контроля надежности металлических конструкций [Текст] / Алимбаев Б.А., Джанузакова Р.Ж. // Мат. Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы водного хозяйства», посвященной 95-летию академика Р.Ж. Жулаева. - Тараз, 2006. - С.281-285.
3. Алимбаев Б.А. Анализ отказов работы металлических конструкций гидротехнических сооружений [Текст] / Алимбаев Б.А., Джанузакова Р.Ж. // Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии. - Алматы, 2006. - №1(9). - С.70-78.
4. Инновационный патент РК №21138. Электромагнитный способ измерения напряжений в ферромагнитных изделиях / Алимбаев Б.А., Малибеков А.К., Манапбаев Б.Ж., Джанузакова Р.Д. Оpubл. 15.04.2009. Бюл. №4. - 3стр.
5. Алимбаев Б. Повышение долговечности металлических конструкций гидротехнических сооружений [Текст] / Алимбаев Б., Манапбаев Б.Ж., Джанузакова Р.Ж. и др. // Природопользование и проблемы антропоферы. - Тараз, 2010. - №1. - С.332-340.
6. Алимбаев Б.А. Об одном факторе развития коррозии в элементах металлических конструкций гидротехнических сооружений [Текст] / Алимбаев Б.А., Манапбаев Б.Ж., Джанузакова Р.Ж. // Механика и моделирование процессов технологии. - 2010. - №1. - С.116-126.
7. Инновационный патент РК №23575. Атопологический способ измерения напряжений в элементах изделий / Алимбаев Б.А., Манапбаев Б.Ж., Джанузакова Р.Д. Оpubл. 15.12.2010, Бюл. №12. - 3стр.
8. Алимбаев Б.А. Коррозия металлических конструкций – как один из факторов ухудшения экологической обстановки [Текст] / Алимбаев Б.А., Манапбаев Б.Ж., Джанузакова Р.Ж. – Мат. межд. науч.-практ. конф. «Индустриально-инновационное развитие Казахстана - проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности». – Атырау : Атырауский институт нефти и газа, 2012. – С. 214-219.
9. Алимбаев Б.А. Развитие коррозии в растянутых элементах металлических конструкций [Текст] / Алимбаев Б.А., Манапбаев Б.Ж., Джанузакова Р.Ж. – Мат. межд. науч.-практ. конф. «Индустриально-инновационное развитие Казахстана - проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности». – Атырау : Атырауский институт нефти и газа, 2012. – С. 220-222.
10. Алимбаев Б.А. Особенности развития коррозии в криволинейных участках стальных труб гидротехнических сооружений [Текст] / Алимбаев Б.А., Манапбаев Б.Ж., Джанузакова Р.Ж. // Известия ВУЗов. - Бишкек, 2013. - №2. – С.18-19.
11. Алимбаев Б.А. Развитие коррозии в сжатых элементах металлических конструкций [Текст] / Алимбаев Б.А., Манапбаев Б.Ж., Джанузакова Р.Ж.

// Известия ВУЗов. - Бишкек, 2013. - №2. – С.23-25.

12. Джанузакова Р.Д. Электромагнитный метод определения напряжений в усиленных элементах металлических конструкций [Текст] / Джанузакова Р.Д. // Вестник КРСУ. - Бишкек, 2013. Т. 13, № 7. –С.138-141.
13. Джанузакова Р.Д. Экспериментальные исследования атопологического способа измерения напряжений [Текст] / Джанузакова Р.Д. // Вестник КРСУ. - Бишкек, 2013. Т. 13, № 7. –С.141-144.
14. Джанузакова Р.Д. Тензорезисторный способ измерения напряжений [Текст] / Джанузакова Р.Д. // Вестник ТарГУ им. М.Х.Дулати, «Природопользование и проблемы антропоферы» международный научный журнал, 2014. №2. – С.175- 182.

## РЕЗЮМЕ

Джанузакова Раушан Джанатовнанын 05.23.07. «Гидротехникалык курулуш» адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын жактоо үчүн «Гидротехникалык курулмалардын металл конструкцияларынын бекемдүүлүгүн жогорулатуу» темасына диссертациясынын резюмеси

**Негизги сөздөр:** бекемдүүлүк, металл конструкциялары, гидротехникалык курулмалар, атопологиялык жол, электромагниттик ыкма, коррозия, ферромагниттик касиеттер, домен, Лоренц кучу, түбөлүктүүлүк

**Изилдөөнүн объектиси.** Изилдөөнүн объектиси болуп гидротехникалык курулмалардын металл конструкциялары эсептелет.

**Иштин максаты** болуп, гидротехникалык курулмалардын металл конструкцияларынын элементтеринин бекемдүүлүгүн жана алардагы коррозиянын өрчүүсүнө ферромагниттик касиеттердин таасирин изилдөө саналат.

**Изилдөөлөрдүн ыкмалары.** Гидротехникалык курулмалардын бекемделген металл конструкцияларынын чыналган абалын аныктоо үчүн эксперименталдык изилдөөлөр тензометриялык жол, атопологиялык жол жана электромагниттик жолдор аркылуу жүргүзүлдү.

**Алынган жыйынтыктардагы илимий жаңылыктар:**

- гидротехникалык курулмалардын бекемделген металл конструкцияларынын чыналган абалын аныктоонун жаңы атопологиялык жолу сунушталды;
- гидротехникалык курулмалардын бекемделген металл конструкцияларынын чыналган абалын аныктоонун жаңы электромагниттик жолу сунушталды;
- ферромагниттик буюмдардын коррозия процессине таасир этүүчү магниттик күчтөрдүн ролу аныкталды;
- металл конструкцияларынын бекемдүүлүгүн жогорулатуу боюнча сунуштар иштелип чыкты;

**Пайдалануу даражасы.** Жүргүзүлгөн илимий изилдөөлөрдүн жыйынтыктары гидротехникалык курулмалардын металл конструкцияларын бекемдүүлүгүн жогорулатуу боюнча сунуштамаларда колдонулду.

Диссертациянын негизги жоболору ТОО «КазНИИВХ» жана ТОО «Казфосфат»тын Жамбыл филиалына караштуу чарбаларга жайылтылды.

**Колдонуу чөйрөсү.** Жүргүзүлгөн илимий изилдөөлөрдүн жыйынтыктарын суу чарба мекемелери тарабынан гидротехникалык курулмалардын металл конструкцияларын долбоорлоодо, курууда, реконструкциялоодо жана эксплуатациялоодо, андан тышкары инженер-гидротехник, курулушчуларды даярдоочу жогорку мектептерде колдонуу сунушталат.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Джанузаковой Раушан Джанатовны на тему: «Повышение надежности металлических конструкций гидротехнических сооружений» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.07 – Гидротехническое строительство

**Ключевые слова:** надежность, металлические конструкции, гидротехнические сооружения, атопологиялык способ, электромагнитный метод, коррозия, ферромагнитные свойства, домен, сила Лоренца, долговечность.

**Объект исследований.** Объектами исследований являлись металлические конструкции гидротехнических сооружений.

**Целью работы** является исследование усиления элементов металлических конструкций гидротехнических сооружений и влияние ферромагнитных свойств на развитие коррозии в них.

**Методы исследований.** Экспериментальные исследования для оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений проводились с помощью тензометрического способа, атопологиялык способа, электромагнитного способа.

**Научная новизна полученных результатов:**

- предложен новый атопологиялык способ оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений;
- предложен новый электромагнитный способ оценки напряженного состояния усиленных металлических конструкций гидротехнических сооружений;
- установлена и определена роль магнитных сил, влияющих на процесс коррозии ферромагнитных изделий;
- разработаны рекомендации по повышению надежности металлических конструкций.

**Степень использования.** Результаты проведенных научных исследований использовались в рекомендациях по повышению надежности металлических конструкций гидротехнических сооружений.

Основные положения диссертации реализованы в ТОО «КазНИИВХ» и в хозяйствах подведомственных Жамбылского филиала ТОО «Казфосфат».

**Область применения.** Результаты проведенных научных исследований рекомендуются использовать водохозяйственными организациями при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации металлических конструкций гидротехнических сооружений, а также в высшей школе при подготовке инженеров-гидротехников, строителей.