

На правах рукописи



САЙФУТДИНОВ АСКАР ИЛЬДАРОВИЧ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНОГО ПЕРЕХОДА
НЕФТЕПРОВОДА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЕГО ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА**

Специальность 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз
и хранилищ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ухта – 2022

Диссертация выполнена в
Ухтинском государственном техническом университете на кафедре
«Проектирование и эксплуатация магистральных газонефтепроводов»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

Коробков Геннадий Евгеньевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой «Сооружение и ремонт газонефтепроводов
и хранилищ» ФГАОУ ВО РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина

Васильев Геннадий Германович

доктор технических наук, доцент кафедры
«Транспорт углеводородных ресурсов» ФГБОУ ВО
«Тюменский индустриальный университет»

Земенкова Мария Юрьевна


Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный
университет»

Защита диссертации состоится «23» сентября 2022 года в 10⁰⁰ на заседании
диссертационного совета Д 212.291.02 в Ухтинском государственном
техническом университете по адресу: 169300, Республика Коми, г. Ухта, ул.
Первомайская, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ухтинского
государственного технического университета, а также на сайте вуза по адресу
www.ugtu.net в разделе «Наука → Диссертации»

Автореферат разослан «18» августа 2022 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

 А.А. Лютоев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Аварийность магистральных нефтепроводов России признается среди 22 мировых трубопроводных компаний, как одна из самых низких - 0,04 аварий на 1 тысячу км в год. Тем не менее, неизбежность аварий пока ещё существует и поэтому, необходимо не только поддерживать достигнутый уровень, но и неуклонно его снижать на основе точной технической диагностики и последующих ремонтно-восстановительных мероприятий. Одним из наиболее потенциально опасных элементов линейной части магистрального нефтепровода (ЛЧ МН) является подводный переход (ПП). Авария на подводном переходе вызывает не только значительные материальные потери, но и наносит огромный экологический ущерб, поскольку нефть сразу попадает в самую ранимую составляющую окружающей среды - воду. На 78 тыс. км линейной части нефте- и нефтепродуктопроводов приходится 1478 подводных переходов общей протяженностью примерно 3209 км между секущими задвижками. Обеспечение надлежащего технического состояния, отвечающего требованиям нормативной документации, представляет собой масштабную задачу, усугубленную солидным средним возрастом переходов. Основопологающей базой для выполнения мероприятий по обеспечению требуемого технического состояния подводных переходов является оценка технического состояния (ОТС), включающая обследование ПП, применение математических моделей и цифровых технологий для обработки результатов обследования и получения характеристик текущего состояния, прогнозирования следующего обследования, а также остаточного ресурса данного перехода. Существующие методы и нормативы, принятые и установленные в отрасли трубопроводного транспорта, являются осредненными, в то время как каждый переход представляет собой уникальный объект с соответствующими ему характеристиками. Не учет данного обстоятельства может привести и приводит к неадекватным решениям и обуславливает возникновение аварийных ситуаций на производственных объектах.

В условиях реализации национальной программы внедрения цифровых

технологий, появилась возможность привлекать обширный массив данных, который может быть целенаправленно использован для разработки моделей оценки технического состояния подводных переходов с высокой достоверностью.

Таким образом, повышение точности оценки технического состояния ПП с одновременным снижением ее стоимости продолжают оставаться на повестке дня.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами проектирования, строительства и эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов занимались следующие авторы: Азметов Х.А., Березин В.Л., Березин Л.В., Бородавкин П.П., Быков Л.И., Галюк В.Х., Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Дудников Ю.В., Забела К.А., Идрисов Р.Х., Кульбей А.Г., Левин С.И., Мансуров М.Н., Мугаллимов Ф.М., Мустафин Ф.М., Спектор Ю.И., Черняев В.Д., Шаммазов А.М., Шадрин О.Б.

Вопросы оценки технического состояния ПП нефтепроводов и ее совершенствования нашли отражение в работах Березина Л.В., Гумерова А.Г., Гумерова Р.С., Идрисова Р.Х., Кульбея А.Г., Мугаллимова Ф.М., Шаммазова А.М. и других авторов.

Творческое осмысление результатов теоретических разработок ученых научно-исследовательских и проектных институтов (в частности ВНИИСПТНефть, Гипротрубопровод и др.), опыт технической эксплуатации многочисленных подводных переходов и проведения внешнего обследования и внутренней диагностики (например, данные организации «Волжский подводник» и др.) позволили реализовать комплексный подход повышения долговечности и эффективности подводных переходов. Этому послужили многочисленные руководящие документы (регламенты, строительные нормы, правила и т.д.), в которых широко были использованы теоретические результаты исследований прочности оболочечных конструкций, одним из примеров которых являются трубопроводы. Для характеристики технического состояния действующих переходов в целях прогнозирования их остаточного ресурса (время безопасной работы данного подводного перехода) в качестве базовых исходных данных использовались

результаты обследования реальных переходов.

Для описания технического состояния подводных переходов, авторами предлагались и использовались различные модели ПП. Реализовывался следующий принцип развития исследований в данном направлении: чем больше факторов учитывает модель, тем точнее прогнозирование остаточного ресурса.

Проблема состоит в том, что обработка получаемой информации с применением математических и алгоритмических моделей приносит погрешность в итоговый результат (прогнозирование периодов безопасной и безаварийной эксплуатации). Накопление получаемых погрешностей влияет на окончательный результат расчета сроков жизненного цикла ПП. До настоящего времени, данной проблематике не уделялось должного внимания.

Цель исследования. Совершенствование методов моделирования технического состояния подводного перехода на основе использования простых эмпирических моделей и алгоритмов обработки большой базы данных для прогнозирования его остаточного ресурса в эпоху внедрения цифровых технологий.

Идея исследования. Обоснование перехода от сложных академических моделей к простым эмпирическим моделям и к моделям обработки большой базы неструктурированной информации.

Задачи исследования.

1. Анализ публикаций и факторов, определяющих работоспособность и эффективность эксплуатации подводных переходов магистральных нефтепроводов.

2. Установление характеристик, поиск и анализ промышленных исходных данных для оценки технического состояния подводных переходов и его прогнозирования.

3. Поиск и анализ применимости вариаций моделирования технического состояния подводных переходов.

4. Разработка алгоритма применения математических моделей технического состояния ПП магистральных нефтепроводов для формирования

рекомендаций по снижению влияния факторов, определяющих стоимость, состав и сроки проведения обслуживания и ремонта для дальнейшего использования в компаниях отрасли.

Соответствие паспорту заявленной специальности. Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту специальности ВАК РФ 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ»: п. 2 – «Разработка и оптимизация методов проектирования, сооружения и эксплуатации сухопутных и морских нефтегазопроводов, нефтебаз и газонефтехранилищ с целью усовершенствования технологических процессов с учетом требований промышленной экологии».

Научная новизна исследования.

1. Установлено, что во многих случаях применение простых эмпирических моделей позволяет снизить относительную погрешность результата по сравнению с вариантом применения сложных академических моделей, и, в частности, при оценке технического состояния подводных переходов это снижение может достигать 4-х раз.

2. Разработан алгоритм использования узконаправленных кластеров близких по характеристикам подводных переходов, позволяющий уточнить и удешевить решения, принимаемые на основе обработки больших объемов базы данных неструктурированной информации с применением цифровых технологий.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:

показано, что тенденция повышения сложности математических моделей технического состояния трубопроводов, обусловленная увеличением числа учитываемых влияющих факторов может привести к возрастанию накопленной погрешности и, напротив, формирование информационно-аналитической системы для построения простых эмпирических индивидуальных моделей для каждого ПП будет способствовать существенному повышению точности определения сроков очередного обследования и прогнозирования остаточного ресурса;

разработан алгоритм для построения математических эмпирических моделей, учитывая погрешности определения исходных параметров с точки зрения робастности и чувствительности модели;

установлены и обоснованы методы моделирования технического состояния подводного перехода магистрального нефтепровода (ППМН) за счет принципа кластерной группировки по однородности объектов и влияющих факторов на всем жизненном цикле.

Практическая значимость работы определяется тем, что:

результаты исследований могут быть использованы для определения срока следующего обследования подводного перехода и прогнозирования его остаточного ресурса работы, для планирования мероприятий технического обслуживания и ремонта, что будет способствовать уменьшению аварийности, а, следовательно, снижению расходов на эксплуатацию подводных переходов;

внедрены результаты научной работы в учебный процесс ФГБОУ ВО «УГНТУ»:

- включены в программу дисциплины «Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли. Методы математической физики» при подготовке магистров;

- включены в программу дисциплины «Математическое моделирование процессов при транспорте и хранении углеводородов» при подготовке бакалавров по направлению «Нефтегазовое дело»;

- разработано и используется учебно-методическое пособие «Создание математических моделей технического состояния трубопроводов на основе принципов кластеризации».

Результаты исследований диссертационной работы использованы для разработки технических решений при реализации Крупного проекта «Газ Ямала» ООО «Газпромнефть-Развитие» и включены в требования по мониторингу и эксплуатации производственного объекта Компании.

Методология и методы исследования. Решение поставленных задач производилось в соответствии с общепринятой методикой выполнения научных исследований, включающей обобщение и анализ предшествующих исследований, разработку рабочих гипотез и концепций, аналитические исследования, разработку численного эксперимента и его методического обеспечения. Теоретические исследования включали применение многомерного статистического анализа, в т.ч. методы кластерного анализа, математического моделирования для формирования информационно-аналитической системы объекта, современные методы обработки информации.

Положения, выносимые на защиту.

1. Усложнение математических моделей для оценки технического состояния объекта не приводит к адекватному повышению точности определения характеристик текущего состояния и прогнозирования остаточного ресурса.

2. Применение простых эмпирических моделей с использованием результатов статистической обработки большой базы данных по характеристикам технического состояния снижает относительную погрешность их определения, в том числе и за счет применения алгоритма оптимизации ореола кластеризации контролируемых переходов и их параметров.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты и научные положения диссертационной работы были доложены на: 64, 65, 66, 67-й научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых (Уфа, 2013, 2014, 2015, 2016 гг), VIII, IX, X, XI Международных учебно-научно-практических конференциях «Трубопроводный транспорт – 2012, 2013, 2015, 2016» (Уфа, УГНТУ), Международной молодежной научной конференции «Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса», (Уфа, БашГУ, 2016), 50, 54 Межрегиональный вебинар имени проф. И. Н. Андропова «Актуальные вопросы транспорта нефти и газа» (Ухта, УГТУ, 2020, 2021).

В диссертационной работе были корректно использованы соответствующие математические методы и формулы, вычислительные программные комплексы.

Достоверность научных положений и полученных результатов исследований подтверждаются использованием реальных фактических данных.

Личный вклад автора заключается в выполненном сборе производственных данных по эксплуатации ППМН и анализ результатов ранее опубликованных материалов по теме диссертации; сформулированы цели и задачи исследований; рассмотрены факторы, определяющие работоспособность и эффективность эксплуатации ППМН; исследованы источники информации для создания моделей оценки технического состояния подводных переходов и его прогнозирования; на основе моделирования коррозионного износа трубопровода и малоцикловой усталости подводного перехода предложены математические модели прогнозирования долговечности (остаточного ресурса) подводного перехода; рассмотрено повышение достоверности математических моделей оценки технического состояния подводных переходов и предложены рекомендации по составу и срокам проведения технического обслуживания и ремонта.

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 17 печатных работах, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, содержит 149 страниц, 2 приложения, 21 рисунка, 26 таблиц, список литературы из 133 наименований.

Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, отражена научная новизна и практическая ценность работы, дана общая характеристика диссертационной работы.

В первой главе приведен анализ отечественных и зарубежных литературных источников по теме диссертационной работы, проведен анализ возникновения аварийных ситуаций на ППМН за 10-летний период по компании ПАО «Транснефть».

Выделены факторы, определяющие работоспособность, эффективность эксплуатации ППМН и требуемого технического состояния. Рассмотрено влияние

этапов жизненного цикла на техническое состояние, работоспособность и долговечность ПП. Дана оценка современному состоянию информационного обеспечения создания моделей оценки и прогнозирования технического состояния ПП. Выполненный анализ практики эксплуатации ПП убедительно показал, что для предотвращения аварий и своевременного проведения планово-предупредительного ремонта необходим комплексный мониторинг, который осуществляется специальными целевыми проверками, обследованиями и измерениями наружными и внутренними с применением внутритрубных средств технической диагностики в период эксплуатации и ремонта, а также после нормативного срока эксплуатации ПП.

В главе обращено внимание на то, что при проведении работ по обследованию ППМН устанавливаются требования к погрешности измерений. Насколько они обоснованы – вопрос остается открытым.

В связи с широким распространением информационных технологий появилась возможность систематизировать, хранить и обрабатывать большие информационные массивы. Также широкое распространение получила концепция «жизненный цикл» технической системы. В рамках этой концепции при анализе долговечности системы используется вся информация о ней: от момента принятия решения по её созданию и до вывода системы из эксплуатации.

В диссертации была выполнена оценка технического состояния действующих ПП вместе с резервными нитками в средней полосе России на основании данных о результатах внутритрубного дефектоскопического контроля и внешнего обследования. Оказалось, что большинство дефектов ППМН были заложены еще на этапе сооружения трубопроводов, и только небольшая доля дефектов приходится на период эксплуатации (рисунок 1). Что же касается расположения дефектов, то наибольшее их количество сосредоточено в пойме водоемов. Это связано с тем, что пойменные участки трубопроводов чаще всего являются наиболее нагруженными и испытывают большие изгибные напряжения, здесь же наиболее существенно влияние подвижек грунта.

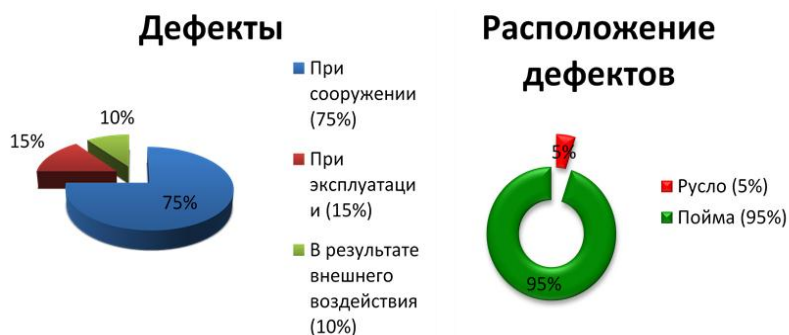


Рисунок 1 – Результаты анализа технического состояния ППМН по данным внутритрубного контроля

Выше приведенные данные подводят к такому выводу: для адекватной оценки технического состояния ПП, разработки точных моделей его оценки, а на их базе – разработку системы технического обслуживания и ремонта (ТОР) и осуществление прогнозирования ТС ППМН, необходима полноценная информационная база данных по каждому переходу, в соответствии с основными этапами его жизненного цикла.

Для контроля технического состояния подводных переходов (ТСПП) может применяться автоматизированная информационно-аналитическая система (АИСПП). Она оперирует данными, содержащимися в электронных паспортах каждого ПП. Источником информации для формирования документов и отчетов по характеристике и оценке ТСПП в АИСПП является электронный паспорт ПП, который содержит 45-50 показателей. Характеристика порядка использования АИСПП говорит о том, что основой в этом процессе является нормирование, которое учитывает многие реальные факторы, может быть даже излишние, вносящие погрешности в расчеты и выводы.

Результаты рассмотрения проблем, связанных с оценкой технического состояния ППМН, позволили сформулировать задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены источники информации для создания точных математических моделей оценки технического состояния ПП и его прогнозирования. В настоящее время проблема состоит в том, что процесс получения и последующей обработки исходной информации связан с использованием значительного количества математических и алгоритмических моделей, каждая из которых привносит свою

долю погрешности в окончательный результат. Эти погрешности накапливаются и могут существенно влиять на результаты расчетов. До настоящего времени этой проблеме не уделялось должного внимания.

Для выполнения расчетов по оценке технического состояния необходима информация о параметрах износа ПП. Предложено структурировать информацию о дефектах, характерных для ПП, и хронологию их развития для каждого ПП индивидуально, т.к. условия создания, сооружения и эксплуатации каждого конкретного ПП могут существенно различаться. Это зависит от технологического уровня в период изготовления, условий сооружения и эксплуатации ПП, изменяющихся характеристик водной преграды, климатических условий и т.п. Выполненный анализ результатов внешнего обследования свидетельствуют о том, что 60-70% нарушений технического состояния ПП составляют провисы, оголения и недозаглубления. Они не приводят, непосредственно, к разгерметизации нефтепровода и достаточно быстро устраняются. Более опасны с точки зрения утечек нефти дефекты, вызванные коррозионным износом и малоцикловой усталостью (трещины). Поэтому, в первую очередь, будем исследовать дефекты, вызванные коррозией и малоцикловой усталостью, в т.ч. сменой технологических параметров работы нефтепровода.

Для определения структуры и содержания доступной информации, которая позволит выполнить расчеты показателей надежности и эффективности эксплуатации ПП и оценить качество полученных результатов, разработана функциональная модель «Информационная поддержка системы управления надежностью и эффективностью эксплуатации подводных переходов (ИСУЭПП)», диаграммы которой приведены на рисунках 2 и 3. На диаграмме (рисунок 2) приведены наименования носителей информации, которая используется в процессе разработки ИСУЭПП. На рисунке 3 приведена контекстная диаграмма функциональной модели ИСУЭПП нижнего уровня, (декомпозиция процесса разработки системы управления надежностью и эффективностью подводных переходов).

Диаграмма верхнего уровня



Рисунок 2 – Диаграмма верхнего уровня информационной поддержки системы управления надежностью и эффективностью подводного перехода

Диаграмма нижнего уровня

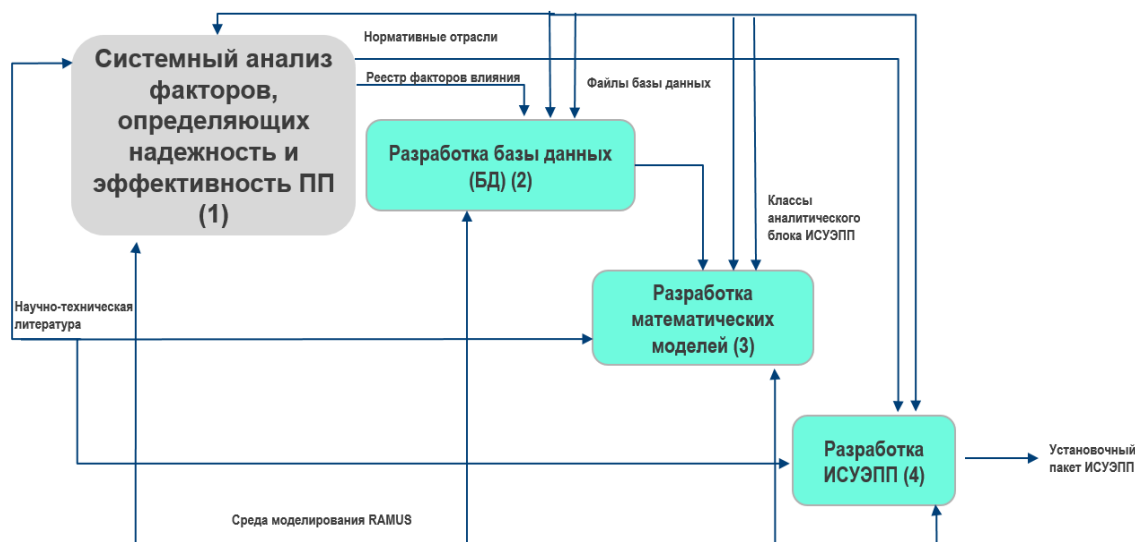


Рисунок 3 – Диаграмма нижнего уровня модели ИСУЭПП

На диаграмме видно, что проблему разработки информационной поддержки системы управления надежностью и эффективностью ПП предлагается представить в виде четырех основных блоков.

Цель совершенствования ИАСПП – разработка современной системы принятия решений, связанных с надежностью и эффективностью эксплуатации ПП на всех этапах их жизненного цикла, с учетом доступной информации о техническом состоянии каждого ПП системы магистрального нефтепроводного транспорта России.

Стремительное внедрение информационных и цифровых технологий в решение технологических задач предопределило их неразрывное использование, т.е. IT-технологии становятся обязательным инструментом эффективного выполнения производственных и исследовательских задач.

Традиционным методом хранения информации большого объема и сложной структуры являются базы данных (БД). На рисунке 4 приведена разработанная диаграмма дерева узлов процесса проектирования базы данных о ППМН. Основным этапом рассматриваемой задачи является логическое проектирование реляционной БД, в процессе которого разрабатываются так называемые ER-модели и ER-диаграммы.

ER – модель или модель «сущность-связь» (англ. entity-relationship model, ERM) – модель данных, позволяющая описывать концептуальные схемы предметной области.

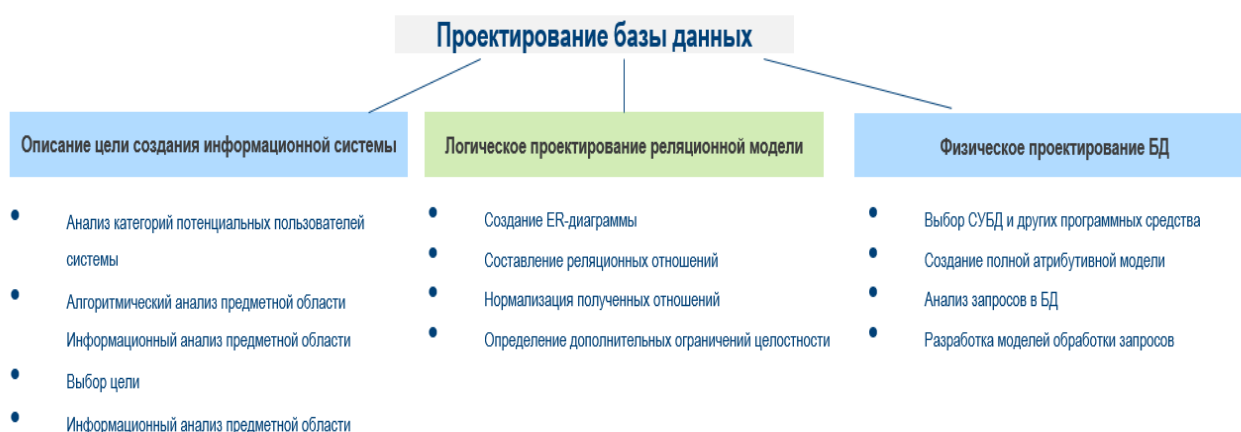


Рисунок 4 – Диаграмма дерева узлов процесса проектирования базы данных «Техническое состояние подводных переходов»

С её помощью можно выделить ключевые сущности и обозначить связи, которые могут устанавливаться между этими сущностями. Разрабатываются таблицы, в которых будет храниться та или иная информация, необходимая для решения общих и частных задач, решаемых с использованием разрабатываемой БД, например, таблица – Атрибуты сущности «Подводный переход» (таблица 1).

Таблица 1 – Атрибуты сущности «Подводный переход»

Атрибут	Описание
---------	----------

Номер ПП	Уникальный номер подводного перехода в пределах ПАО «Транснефть»
Название трубопровода	Название трубопровода согласно принятой нормативной документации
Название подводного препятствия	Географическое название реки, через которую проходит подводный переход
Километр трубопровода	Километр нефтепровода, на котором начинается подводный переход согласно документации на нефтепровод, согласно нормативной документации
Группа сложности ПП	Группы сложности подводных переходов в соответствии с актуальной нормативной базой.

Результаты анализа взаимосвязей между сущностями приведены (частично) на рисунке 5. Полученная в результате обследований цифровая информация делает практически возможным использование современных методов компьютерного анализа для управления надежностью и эффективностью эксплуатации ПП, оценки текущего технического состояния и остаточного ресурса.

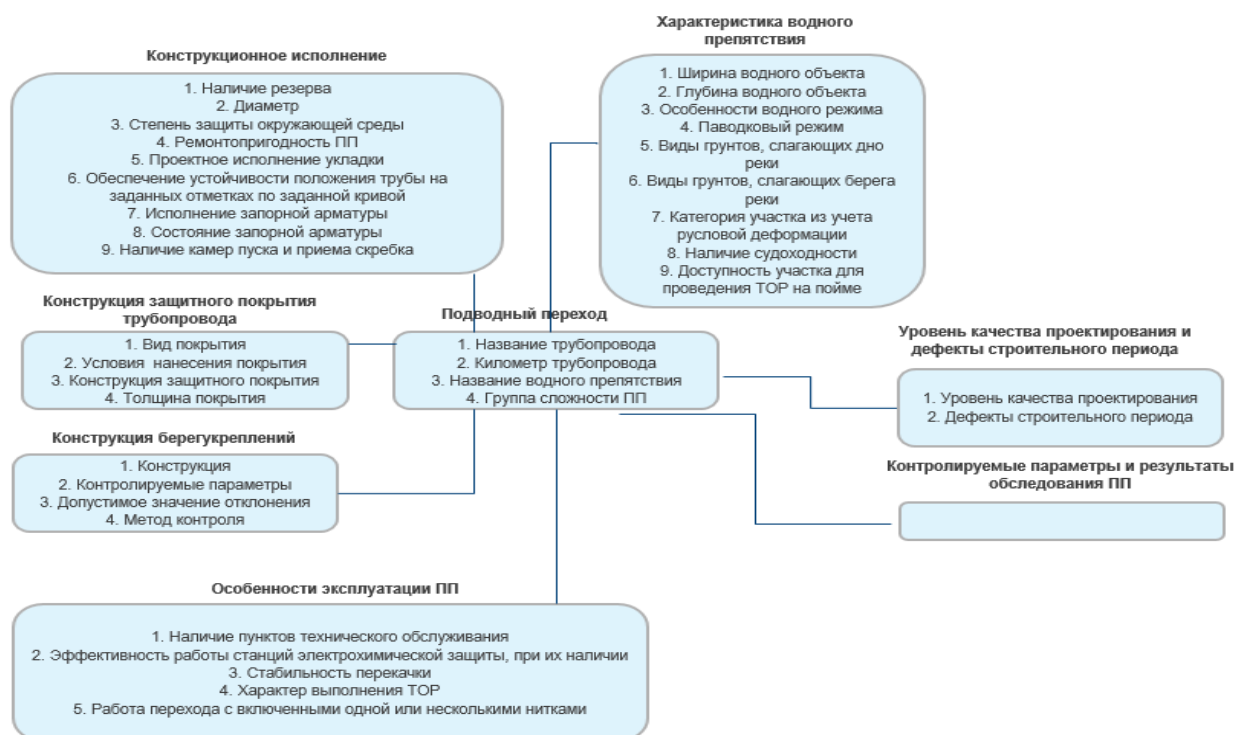


Рисунок 5 – Фрагмент-1 ER-диаграммы БД подводных переходов

В третьей главе рассмотрены проблемы использования математических моделей для оценки технического состояния и прогнозирования долговечности ПП. В главе 1 было отмечено, что одними из основных причин нарушения герметичности ППМН являются коррозионный износ и малоцикловая усталость. Предлагается при выборе математических моделей руководствоваться критерием «робастность

математических моделей». Робастность характеризует устойчивость математической модели по отношению к погрешностям исходных данных, способность предугадывать эти погрешности и не допускать их чрезмерного влияния на результат численного эксперимента. Причинами низкой робастности математической модели могут быть: необходимость при ее количественном анализе вычитания близких друг к другу приближенных значений величин или деления на малую по модулю величину, а также использование в математической модели функций, быстро изменяющихся в промежутке, где значение аргумента известно с невысокой точностью. Иногда стремление увеличить полноту математической модели не приводит к желаемому результату. Так, в диссертации показано, что при прогнозировании коррозионного износа внутренней поверхности трубопровода, лучшей по критерию робастности является простейшая модель.

При проведении анализа моделей оценки и прогнозирования ТСПП были также использованы следующие критерии: доступность входных параметров модели; анализ чувствительности этих моделей. Под анализом чувствительности подразумевается определение изменений в реакции модели на отклонение отдельных параметров. На примере моделирования коррозионного износа внутренней поверхности трубы ПП выполнен сравнительный анализ чувствительности простой и сложной модели.

Примером простой модели послужила следующая:

$$t = \frac{S_0 - S_{кр}}{V_0}, \quad (1)$$

где t - время допустимой эксплуатации участка трубопровода;

S_0 - начальная толщина стенки трубопровода;

$S_{кр}$ - предельная толщина стенки участка трубопровода;

V_0 - скорость коррозии ненапряженного элемента.

Сложная модель, позволяющая оценивать влияние напряженного состояния стенки трубы, температуры перекачиваемого продукта, физико-химических характеристик процесса коррозии представлена ниже:

$$V = V_0 \cdot \exp\left[\frac{\nu \cdot \sigma(\tau)}{R \cdot T(\tau)}\right], (2)$$

где V - скорость коррозии напряженного элемента, мм/год;

V_0 - скорость коррозии ненапряженного элемента, мм/год;

σ - среднее напряжение, МПа;

τ - время;

ν - мольный объем металла для стали $7 \text{ см}^3/\text{моль}$;

R - универсальная газовая постоянная, $8,31 \text{ Дж/моль}$;

T - температура среды по Кельвину, К.

В рамках решаемой задачи введено понятие «информационный генезис», которое предполагает подробный анализ процессов жизненного цикла информации в информационных системах. Предлагается следующая модель генетического анализа информации в системе прогнозирования технического состояния трубопроводов: определение первоисточника информации по каждому входному параметру (ВП); анализ достоверности информации по ВП; разработка процедуры «отбраковки» или «восполнения» некачественной информации; анализ погрешности приборов; анализ «маршрута» информации в информационной системе – последовательности ее преобразований в системе; анализ погрешностей, связанных с каждым узлом маршрута ВП в системе; формирование интегральной оценки погрешности выходной информации; разработка дополнений в регламент обследований технического состояния объекта, связанных с генезисом используемой информации; внесение изменений в процедуры генетического анализа информации в информационной системе.

Результаты сравнения показали, что в расчетах коррозионного износа трубопроводов (в т.ч. и ПП) по сложной модели скорость коррозии можно считать постоянной, т.е. влиянием уровня напряжений, температуры перекачиваемой среды и других характеристик можно в практических расчетах пренебрегать и в подобных вычислениях рационально использовать простейшую модель. Использование критерия робастности модели в процессе ее выбора для прогнозирования долговечности ППМН реализовано в диссертации при определении критического

числа циклов для трубопровода с дефектом типа «трещина». Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что можно выбрать математические модели, позволяющие уменьшить погрешность при использовании доступной исходной информации, что в конечном итоге позволит повысить качество точечных оценок надежности и сформировать их интервальные оценки, т.е., по сути, оценить качество прогноза, опираясь на робастные оценки.

Четвертая глава посвящена повышению достоверности математических моделей оценки технического состояния ПП, разработки алгоритма использования узконаправленных кластеров близких по характеристикам ПП, позволяющий уточнить и удешевить решения, принимаемые на основе обработки больших объемов базы данных неструктурированной информации с применением цифровых технологий и формированию рекомендаций по составу и срокам проведения ТОР.

Предлагается новый научно-методический принцип формирования информационно-аналитической системы, который позволит создавать эмпирические индивидуальные модели для каждого ПП взамен традиционно используемых полуэмпирических моделей, что позволит существенно сократить расходы на ТОР. Эффективно применение кластер-анализа для объединения ППМН в классы таким образом, чтобы в один класс попадали максимально схожие, а ППМН различных классов максимально отличались друг от друга. Количественный показатель сходства рассчитывается заданным способом на основании данных, характеризующих ППМН. В диссертации под кластеризацией понимается группировка ПП на непересекающиеся подмножества, состоящие из схожих переходов. Предлагаемая модель (алгоритм) обработки информации в системе «Подводные переходы» (ИАСПП) приведена на рисунке 6. Она решает задачи выбора целевого кластера и проблемы достоверности результатов оценки технического состояния, предложена структура формирования рекомендаций по составу и срокам проведения ТОР. На рисунках 7 и 8 приведены результаты расчетов, иллюстрирующих один из возможных вариантов повышения эффективности системы ТОР ППМН, посредством снижения погрешности результатов прогнозирования.

В частности, расчеты показывают, что, например, уменьшение нормируемого параметра «остаточная глубина дефекта» с относительной величины 0,9 до 0,7 (приблизительно на 20%) почти в 4 раза снижает относительную погрешность прогноза (приблизительно на 400%). На рисунках видно, что, если ограничивать критическую глубину дефекта, например, на уровне, например, 70% от проектной толщины стенки трубы, относительная погрешность расчета остаточного ресурса уменьшается более чем в 4 раза.

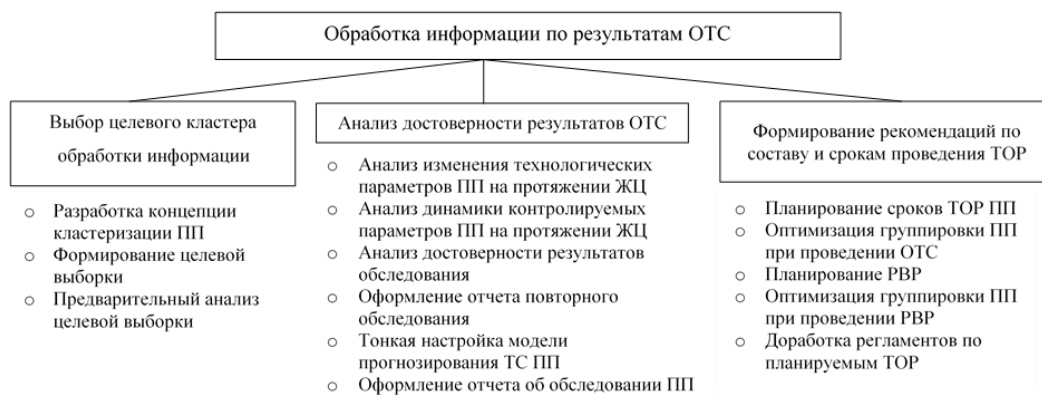


Рисунок 6 – Алгоритм обработки информации по результатам обследования технического состояния ПП в процессе кластеризации

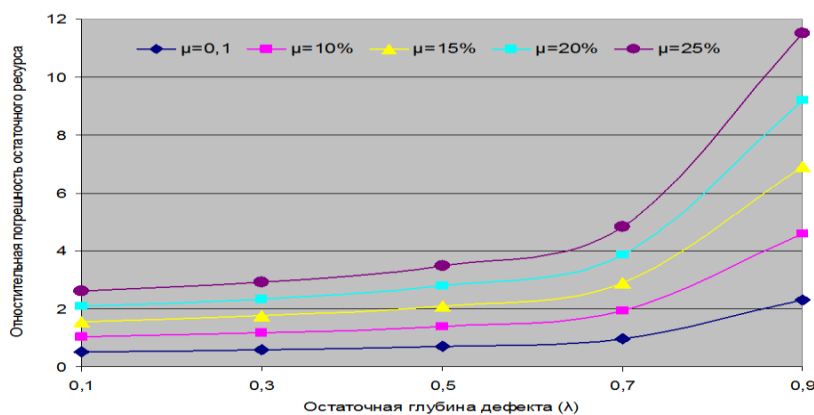


Рисунок 7 – Зависимость относительной погрешности расчета остаточного ресурса от остаточной глубины дефекты $\in (0,1; 0,9)$

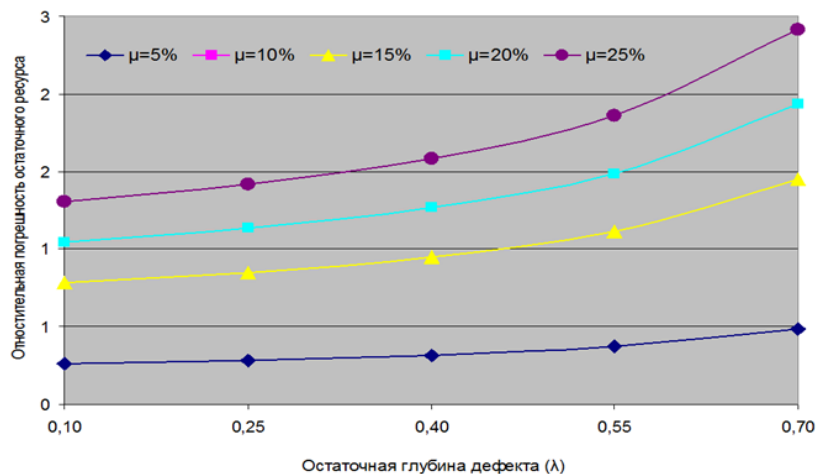


Рисунок 8 – Зависимость относительной погрешности расчета остаточного ресурса от остаточной глубины дефекты $\in (0,1; 0,7)$

Поэтому в диссертации за основу принимается следующий постулат: «Оптимальный путь к улучшению качества прогнозирования (снижения величины погрешности результатов расчетов) - разработка эмпирических моделей для групп подводных переходов с близкими по величине входными параметрами», выше эта группа ППМН была определена как «целевая выборка». Такой подход возможен при наличии существующего (весьма значительного) опыта эксплуатации подводных переходов, реализованного и документированного в форме «результатов обследований технического состояния подводных переходов», что и позволяет существенно улучшить (в несколько раз) качество прогнозов безопасной эксплуатации ПП.

Планирование сроков и состава ТОР производится статистическими методами, в качестве целевой выборки используется информация целевого кластера, приведенная на рисунке 9.

На предварительном анализе целевой выборки вся полученная информация тестируется на наличие «грубых промахов» и аномальных результатов измерений.

На основании достоверной информации определяются сроки мероприятий по ТОР. При наличии грубых промахов проводятся повторные измерения, после которых производится планирование ТОР, или, если обнаружена аномальная информация, проводится экспертиза причин и последствий появления аномальных результатов.

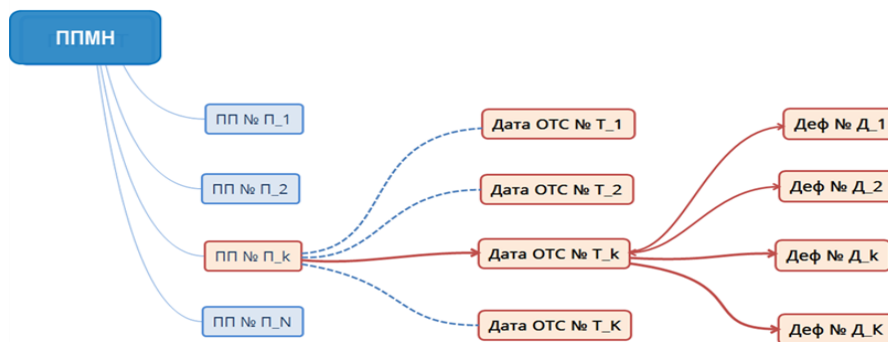


Рисунок 9 – Алгоритм формирования кластеров ПП при оценке остаточного ресурса ПП

На основе применения принципов кластеризации и операций с большими базами данных показана возможность уменьшения периодов и параметров периодического обследования ППМН и снижения эксплуатационных расходов на 30-40%.

Заключение

1. Анализ факторов, определяющих эффективность и работоспособность ППМН показал, что в существующей системе определения технического состояния подводных переходов, основой является принцип нормирования, который учитывает многие реальные факторы, может быть даже излишние, вносящие погрешности в расчеты и выводы, для повышения точности расчетов необходима полноценная база данных по каждому переходу в соответствии с этапами его жизненного цикла.

2. Разработан алгоритм информационной поддержки принятия решений по установлению характеристик технического состояния подводных переходов и математических моделей по его описанию, повышающий достоверность результатов на основе учета самых значимых составляющих - уровня качества проектирования дефектов строительного периода и особенностей эксплуатации каждого конкретного перехода.

3. При оценке остаточного ресурса подводного перехода, наибольшая точность прогноза будет обеспечена использованием простых эмпирических моделей, полученных на основе статистической обработки больших объемов неструктурированной информации и прошедших проверку на робастность и чувствительность.

4. Разработан алгоритм использования узконаправленных кластеров близких по характеристикам подводных переходов, позволяющий уточнить и удешевить решения, принимаемые на основе обработки больших объемов базы данных неструктурированной информации с применением цифровых технологий. Установлено, что оптимизация ореола кластеризации с целью обеспечения необходимого объема выборки и минимального размаха контролируемых параметров может в 4 раза снизить относительную погрешность прогнозирования остаточного ресурса ППМН и уменьшить эксплуатационные расходы на 30-40%.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК при Минобрнауки России:

1. Сайфутдинов, А.И. К проблеме оценки технического состояния малоинформативных объектов / А.И. Сайфутдинов, К.Ш. Ямалетдинова, А.П. Янчушка // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 12 (часть 2). – С. 315-320;

2. Сайфутдинов, А.И. Безаварийная эксплуатация подводных переходов МНП / А.И. Сайфутдинов, Г.Е. Коробков // Neftegaz.RU. – 2018. – № 12. – С. 48-51;

3. Сайфутдинов, А.И. Робастность математических моделей оценки долговечности подводных переходов нефтепроводов / А.И. Сайфутдинов, Г.Е. Коробков // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2018. – № 4. – С. 67-72;

4. Сайфутдинов, А.И. К проблеме расчета остаточного ресурса длительно эксплуатируемых подводных переходов магистральных нефтепроводов / А.И. Сайфутдинов, Г.Е. Коробков // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2017. – № 5. – С. 24-27.

Публикации в других научных изданиях:

5. Сайфутдинов, А.И. Повышение эффективности управления техническим состоянием подводных переходов на основе анализа исходной информации / А.И. Сайфутдинов, Г.Е. Коробков // 67-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ: сб.матер.конф.; редкол.: Р. А. Исмаков и др. – Уфа: Издательство УГНТУ. – 2016. – Кн. 1. – С. 472-473;

6. Сайфутдинов, А.И. Прогнозирование времени безопасной эксплуатации подводных переходов нефтепроводов / А.И. Сайфутдинов, Г.Е. Коробков // Трубопроводный транспорт – 2016: материалы XI Международной учебно-научно-практической конференции / – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2016. – С. 132-134;

7. Сайфутдинов, А.И. Обеспечение эффективности эксплуатации подводных переходов нефтепроводов / А.И. Сайфутдинов, Г.В. Кудоярова // Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса: материалы Международной молодежной научной конференции – Уфа: РИЦ БашГУ. – 2016. – С. 235-237;

8. Сайфутдинов, А.И. Анализ технического состояния подводных переходов магистральных нефтепроводов / А.И. Сайфутдинов, Г.Е. Коробков // 66-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. матер. конф. – Кн.1. – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2015. – С. 181-183;

9. Сайфутдинов, А.И. Информационная поддержка системы управления надежностью и эффективностью подводных переходов магистральных нефтепроводов / А.И. Сайфутдинов, С.А. Будников // Материалы X

международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2015». – Том 1. – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2015. – С. 290-293;

10. Сайфутдинов, А.И. К вопросу разработки системы управления надежностью и эффективностью подводных переходов магистральных нефтепроводов / А.И. Сайфутдинов, С.А. Будников // 66-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. матер. конф. – Кн.1. – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2015. – С. 183-185;

11. Сайфутдинов, А.И. Этапы создания системы управления надежностью и эффективностью подводных переходов магистральных нефтепроводов / А.И. Сайфутдинов, С.А. Будников // Материалы X международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2015». – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2015. – С. 240-242;

12. Сайфутдинов, А.И. Определение параметров балластировки / А.И. Сайфутдинов, Г.Е. Коробков // 65-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. матер. конф. – Кн.1. – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2014. – С. 91-94;

13. Сайфутдинов, А.И. Расчет обеспеченных расходов воды обследуемого перехода на примере подводного перехода магистрального нефтепровода «САЛАВАТ-ОРСК» через р. Белая / А.И. Сайфутдинов // 64-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. матер. конф. – Кн.1. – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2013. – С. 40-41;

14. Сайфутдинов, А.И. Характеристики и основные работы по проведению диагностики подводных переходов на примере перехода магистрального нефтепровода «САЛАВАТ-ОРСК» через р. Белая / А.И. Сайфутдинов // 64-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. матер. конф. – Кн.1. – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2013. – С. 38-40;

15. Сайфутдинов, А.И. Автоматизированный мониторинг коррозионного состояния подводных переходов / А.И. Сайфутдинов, Г.Е. Коробков // Материалы

IX международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2013». – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2013. – С. 166-168.

16. Сайфутдинов, А.И. О русловых процессах и планово-высотных деформациях русла в районе подводного перехода / А.И. Сайфутдинов // Материалы VIII международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2012». – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2012. – С. 173-175;

17. Сайфутдинов, А.И. Мониторинг подводных переходов / А.И. Сайфутдинов // Материалы VIII международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт – 2012». – Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2012. – С. 171-173.