

ВВЕДЕНИЕ

Россия обладает развитой сетью трубопроводного транспорта природного газа, нефти и продуктов их переработки: общая протяженность трубопроводов превышает **200** тыс. км.

По данным на **1998** год **29%** нефтепроводов эксплуатируются уже от **20** до **30** лет, **26%** - более **30** лет. Средний возраст газопроводов России – **16** лет, **30%** эксплуатируется более **20** лет и **40** тыс. км. выработали свой расчетный ресурс (**33** года), а **2,5%** газопроводов уже служат более **40** лет.

На сегодняшний день на "коррозионные дефекты" приходится **31%** от общего числа отказов на магистральных трубопроводах России. Аварии на трубопроводах, особенно подводных, характеризуются значительными экономическими и экологическими потерями.

Трубопроводы России эксплуатируются в неблагоприятных природно-климатических условиях. Это обстоятельство усложнило проведение диагностики состояния труб. Частая диагностика «внутритрубными приборами» является дорогостоящей процедурой, **60%** газопроводов не приспособлено к проведению внутритрубной диагностики (неравнопроходная запорная арматура и т.д.). По данным РАО "Газпром" в срочном обследовании нуждаются не менее трети всех труб. Полная замена отслуживших свой срок трубопроводов невозможна из-за экономических трудностей.

В условиях дефицита денежных средств и невозможности повсеместно и с необходимой частотой использовать диагностические приборы активно развивается направление диагностирования и прогнозирования состояния трубопроводов, основанное на создании математических моделей, описывающих поведение труб («виртуальный» контроль). Данное направление представлено работами известных ученых Абдуллина И.Г., Гареева А.Г., Гумерова А.Г., Гутмана Э.М., Зайнуллина Р.С., Цикермана Л.Я., Черняева К.В. и др.

Большинство разработанных моделей привязаны к «идеальным условиям эксплуатации» (постоянство внутреннего давления, температуры перекачиваемой жидкости и т.п.), что не дает возможности судить о точности расчетов долговечности реально эксплуатируемого трубопровода. Существует большое количество моделей, которые имеют скорее теоретический интерес, т.к. привязаны к большому числу параметров, оценка которых в производственных условиях практически невозможна ввиду необходимости использования специфического лабораторного оборудования и привлечения кадров высокой квалификации. В опубликованных работах, описывающих автоматизированные системы для оценки состояния трубопроводов, нет сведений о математическом аппарате, положенном в основу функционирования систем, и не приводится информации о его адекватности.

В результате вопрос о разработке модели для «виртуального» контроля остается актуальным. Решению этого вопроса посвящена данная работа.

Целью диссертации является разработка метода "виртуального" контроля состояния магистрального трубопровода, работающего в реальных условиях при развитии двухсторонней коррозии, а также создание программно-аналитического комплекса, реализующего этот метод.

Для решения поставленной задачи необходимо:

- разработать модель утончения стенки трубы от внутренней и наружной коррозии, учитывающей реальные условия работы трубопровода (изменение режимов и параметров эксплуатации, учет ремонтных и прочих работ) - основу метода контроля состояния магистрального трубопровода;
- разработать алгоритм оценки времени наступления предельного состояния трубопровода для типичных режимов его эксплуатации;
- разработать алгоритм определения начальных скоростей внутренней и наружной коррозии магистральных трубопроводов на базе данных аппаратной диагностики;
- разработать программно-аналитический комплекс на основе созданных алгоритмов для решения прикладных задач;

- обосновать методику оценки экономической эффективности внедрения «виртуального» контроля.

Методы исследований

В диссертации приведены результаты исследований, полученные с использованием методов вычислительной математики, теории вероятностей и случайных процессов, теории алгоритмов и языков программирования, механики, сопротивления материалов, теории упругости, теории надежности.

Научная новизна

Новыми являются следующие основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Модель оценки времени наступления предельного состояния трубопровода (переход из области упругих в область упругопластических деформаций металла) под действием внутренней и наружной механохимической коррозии и переменных во времени нагрузок, для типовых режимов эксплуатации трубы, ставшая основой метода контроля состояния трубопровода;
2. Алгоритм определения начальных скоростей внутренней и наружной коррозии магистральных трубопроводов на базе результатов аппаратной диагностики;
3. Алгоритм оценки времени наступления предельного состояния трубы в отсутствие данных по ее диагностике;
4. Структура программно-аналитического комплекса для «виртуального» контроля состояния трубопроводов.

Практическая ценность

- 1) Создан метод, обеспечивающий «виртуальный» контроль линейной части магистральных трубопроводов с упреждением аварийных ситуаций, позволяющий сэкономить сотни тысяч и миллионы руб. за счет исключения штрафных санкций, потерь сырья и затрат на замену трубы ($\approx 220-300$ тыс. руб. за каждую тонну нефти, попавшей в водоем в случае одной аварии);

- 2) Созданный комплекс пригоден для использования в качестве тренажера для выработки навыков управления режимами эксплуатации магистральных трубопроводов операторами, принимающими решения;
- 3) Программно-аналитический комплекс дает возможность автоматизировать процесс принятия решений по управлению трубопроводным транспортом в оптимальном режиме;
- 4) Разработанный аналитический комплекс пригоден для проведения инвентаризации пригодности к использованию водопроводов городских хозяйств.

Основные положения и результаты работы докладывались:

- на III международной научно-технической конференции "Динамика систем, механизмов и машин" (Омск, 1999),
- на Международной научно-технической конференции "Информационные системы и технологии" (Новосибирск, 2000),
- на Международном симпозиуме "Машины и механизмы ударного, периодического и вибрационного действия" (Орел, 2000),
- на Второй международной научно-технической конференции "Измерение, контроль, информатизация" (Барнаул, 2001),
- на Научной молодежной конференции "Молодые ученые на рубеже третьего тысячелетия", посвященной 70-летию со дня рождения академика В.А. Коптюга (Омск, 2001),
- на II Российской конференции "Естественные науки в военном деле" (Омск, 2001),
- на Третьей конференции молодых специалистов ОАО «Транссибнефть» (Омск, 2001).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 7 докладов на конференциях и 5 статей (2 публикации в центральной печати).

В первой главе представлен аналитический обзор работ, освещающих проблемы эксплуатации трубопроводного транспорта, срок работы которых

приближается к 30 годам и выше, а также рассмотрены основные причины аварий на трубопроводах. Проанализированы возможности продления срока службы магистральных трубопроводов. Сформулирована постановка задачи исследований.

Во второй главе приведен анализ существующих моделей оценки скорости коррозии; описывается разработанный метод контроля, реализованный в виде математической модели оценки времени до наступления предельного состояния участка трубопровода в условиях механохимической коррозии с учетом влияния переменных нагрузок, наличия изоляционного покрытия (тип и толщина), катодной защиты, температурных перепадов внешней среды и перекачиваемой жидкости; также приведен разработанный алгоритм оценки начальной внутренней и наружной скорости коррозии по результатам аппаратного обследования трубопровода. Также по результатам экспериментальных данных проведена проверка адекватности модели, полученный результат позволяет считать модель адекватной, что также подтверждается экономической эффективностью использования "виртуального" контроля состояния трубопровода, представленной в четвертой главе.

В третьей главе проанализированы системы, которые можно отнести к инструментам "виртуального" контроля и управления ЛЧМТ, представлена структура и схема работы созданного ПАК для контроля состояния магистральных нефтегазопроводов, описана разработанная структура хранения и исходных данных и результатов расчетов в БД. Также представлен разработанный алгоритм, позволяющий выполнять расчет ВНПС участка трубопровода по любому сценарию эксплуатации. Данный алгоритм позволяет избавиться от заблаговременного программирования всех возможных сценариев эксплуатации, он работает как конструктор, позволяя оператору выбрать любой набор событий, имеющих место при эксплуатации трубопровода и тут же выполнить расчет ВНПС.

В четвертой главе приведена модель оценки экономической эффективности от использования «виртуального» контроля состояния МТ. Получены на примере две "критические" точки. Первая точка показывает, что в случае предсказания аварии раньше реальной на **24,8%** (здесь процент получен от времени с момента ввода в эксплуатацию до реальной аварии) и менее, проведение ремонтных работ, а также замена исследуемого участка трубы целесообразна с экономической точки зрения, так как потери от недоиспользования трубы в случае преждевременного предсказания аварии меньше от возможных потерь при аварии. Определенная во второй главе адекватность модели с отклонениями в **21,139 %** или предсказание перехода в предельное состояние металла трубы на **21,139 %** раньше реального уже оправдано экономически, так как определен порог отклонений в размере **24,8%** (из расчета попадания при аварии 1 тонны нефти в водоем) от реального времени аварии.

Вторая точка показывает, что за **11,83%** до аварии и менее даже при замене участка трубы, затраты на замену аварийного участка меньше, чем затраты, которые понесет управление магистральными трубопроводами в виде компенсации ущерба, нанесенного окружающей среде в результате аварии.

В приложении приведены пример проведения расчета ВНПС по разработанной модели, примеры интерфейса разработанного программно-аналитического комплекса, структуры ТБД, используемые в комплексе, а также акты внедрения результатов диссертационной работы.