Щелудяков Алексей Михайлович. Разработка комплексной методики оценки остаточного ресурса нефтесборных трубопроводов из альтернативных материалов на основе экспериментальных исследований: диссертация ... кандидата Технических наук: 25.00.19 / Щелудяков Алексей Михайлович;[Место защиты: ФГБОУ ВО Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина], 2017.- 140 с.

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования

«Пермский национальный исследовательский

политехнический университет»

На правах рукописи

ЩЕЛУДЯКОВ АЛЕКСЕИ МИХАИЛОВИЧ

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ

ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕФТЕСБОРНЫХ

ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специальность 25.00.19 - «Строительство и эксплуатация

нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Сальников Алексей Федорович

Пермь 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1. ВНЕДРЕНИЕ В СИСТЕМУ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ 13

1.1. Основные типы неметаллических коррозионно-стойких

труб, применяемых в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» 14

1.2. Особенности труб из альтернативных материалов,

обусловленные природой полимерных материалов 15

1.3. Статистика отказов работы трубопроводов

из альтернативных материалов на объектах добычи

и транспортировки нефти и газа ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»

за 2009-2015 гг 19

1.4. Проблема оценки технического состояния и остаточного

ресурса работы трубопроводов из альтернативных материалов 24

1.5. Методы контроля технического состояния трубопроводов 25

1.6. Испытание образцов трубопроводов из альтернативных

материалов на динамическое нагружение 33

1.7. Проведение испытаний образцов трубопроводов

из альтернативных материалов на прочность при импульсном динамическом нагружении, имитирующем гидроудар 35

1.8. Проведение испытаний образцов трубопроводов из альтернативных материалов на прочность

при циклическом динамическом нагружении 41

Выводы по главе 1 42

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРУБ, ВЫПОЛНЕННЫХ

ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ 43

2.1. Физическая модель работоспособности трубопроводов

из полимерных армированных труб 43

2.2. Декомпозиция задачи оценки несущей способности ПАТ 44

2.3. Математическая постановка задачи 45

2.4. Моделирование в SolidWorks 50

2.5. Моделирование в PhotoView 360 51

2.6. Моделирование в SolidWorks Simulation 51

2.7. Моделирование в SolidWorks Flow Simulation 54

2.8. Моделирование в Ansys 56

Выводы по главе 2 60

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОСТРОЕНИЕМ

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК 61

3.1. Лабораторные исследования 61

3.2. Исследования в полевых условиях 67

3.3. Измерение амплитудно-частотных характеристик на трубопроводе из альтернативных материалов

при давлении внутри 0,05 МПа 69

3.4. Измерение амплитудно-частотных характеристик на трубопроводе из альтернативных материалов

при давлении внутри от 0,5 до 4,0 МПа 71

3.5. Исследование изменения частотных характеристик

труб ТСК и ПАТ при различных видах нагрузок 85

3.6. Влияние импульсной (ударной) нагрузки 86

3.7. Исследование амплитудно-частотных характеристик

трубы при ее изгибе 91

Выводы по главе 3 96

ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТРУБОПРОВОДОВ

ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ 97

4.1. Обоснование необходимости создания методики 97

4.2. Термины и определения 98

4.3. Основные положения 100

4.4. Оперативная диагностика трубопроводов 102

4.5. Комплексное обследование трубопроводов с помощью

волнового метода неразрушающего контроля 108

4.6. Порядок проведения измерений амплитудно-частотных

характеристик трубопровода и их анализ 115

4.7. Заключение экспертизы промышленной безопасности 119

4.8. Техника безопасности 121

4.9. Процедурная модель прогнозирования и ее реализация 122

Выводы по 4 главе 128

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 129

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 132

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Анализ произошедших отказов трубопроводов из альтернативных метал­лических материалов показал, что для трубопроводов из ПАТ причинами отказа стало: нарушение герметичности (заводской брак) - 5-7 %; брак при строительно­монтажных работах - 15 %, нарушение технологии эксплуатации - 75 %, наруше­ние проектирования трубопроводов - до 3 %. Аналогично для трубопроводов ТСК: нарушение герметичности (заводской брак) - 12 %, брак при строительно­монтажных работах - 20 %, нарушение технологии эксплуатации - 60 %, наруше­ние проектирования трубопроводов - до 3 %. Причем в первый год эксплуатации в первую очередь выявляются отказы, причиной которых является заводской брак либо нарушения при проведении строительно-монтажных работ. С увеличением времени срока эксплуатации на первое место выходит нарушение режимов экс­плуатации и ошибки при проектировании - несоответствие глубины закладки трубопровода, подвижность грунта и пр.

Экспериментально, с учетом факторов динамической нагрузки, действую­щей внутри трубопроводов, показано, что при увеличении циклов нагружения не­сущая способность для труб ПАТ-140 и МПТ-140 и предельное динамическое давление разрушения при гидроударе ниже предельного статического давления на 10-15 %, а для ТСК - на 20-40 %. Соответственно, необходимо менять особенно­сти подхода к эксплуатации труб из альтернативных материалов с учетом условий их эксплуатации.

1. Реструктурирован алгоритм программы ПАТ-контроль и алгоритм расче­та собственных частот конструкции трубопровода в зависимости от начальных и граничных условий применительно к трубопроводам из альтернативных материа­лов. Для ПАТ и ТСК труб проработаны диапазоны частот смещения и размытия при появлении различных дефектов на основе моделирования.

Проведены тестовые сравнительные испытания на образцах труб № 14; тру­бы ТСК130-4,0; № 10 трубы ПАТ 3П95.09.00.000; № 11 трубы ПАТ 3П95.09.00.000; № 2 трубы ТГ 110-В. Показана погрешность расчета частот в пределах 5-7 % с экспериментальными частотами на модели. Погрешность в оценке по частоте также составляет не более 5 %.

Получены результаты влияния давления в трубопроводе на изменение пар­циальной частоты. С увеличением давления в трубопроводе увеличивается на­пряжение в стенке трубопровода, и, как следствие, прямо пропорционально уве­личивается парциальная частота. Со ступенчатым увеличением давления от 0 до 4 МПа частота увеличивалась со 120 до 400 Гц.

1. При проведении экспериментальных исследований установлено, что ко­эффициент демпфирования при анализе на соответствующей частоте по длине трубы изменяется. Частота при прохождении сигнала изменяется несущественно. Установлено, что изменение частоты связано с перенастраиванием частоты в обо­лочке трубы. На полученных спектрах представлено пять основных составляю­щих частотных характеристик и отмечается, что чем выше частота, тем выше ко­эффициент демпфирования.

Определены безразмерные коэффициенты работоспособности труб, выпол­ненных из альтернативных материалов для различных повреждений. Для труб ПАТ типоразмеров ПАТ-95, ПАТ-140 и труб ТСК типоразмеров ТСК-75 и ТСК-110 они

составили:

* несплошность материала 0,9-0,95;
* отслоения материала стенки 0,8-0,9;
* микротрещины 0,7-0,8;
* порыв в зависимости от размеров 0,3-0,5.

Верифицирован алгоритм математической модели по результатам натурных испытаний на объекте ЦДНГ-5 ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь», трубопроводы ПАТ-95 (общая протяженность 1,7 км), ПАТ-140 (общая протяженность 4,5 км), на объекте ЦДНГ-11 ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» ТСК-75 (общая протяженность 3,5 км) и ТСК-110 (общая протяженность 15 км).

1. Предложена методика комплексной оценки остаточного ресурса трубо­проводов из альтернативных материалов с учетом условий их эксплуатации. Ука­занная методика реализуется за счет анализа градиентного изменения введенного интегрального коэффициента, учитывающего изменение амплитудно-частотных характеристик во времени. Методика включает в себя оперативную диагностику и комплексную диагностику.

Разработана процедурная модель прогнозирования оценки остаточного ре­сурса, на основе которой выполнен алгоритм оценки технического состояния тру­бопроводов из альтернативных материалов. Алгоритм включает в себя этапы про­верки работоспособности системы регистрации данных, способов ручного и авто­матического проведения замеров и по параметрам. Автоматическая выдача результата годности трубы производится на основе сравнения критериев техниче­ского состояния исследуемого трубопровода с нормативным (расчетным) значени­ем.

Отличительной особенностью указанной методики является достаточно вы­сокая точность оценки остаточного ресурса трубопроводов из альтернативных материалов и отсутствие требований к демонтажу образцов-свидетелей. Таким образом, не требуется выводить из эксплуатации трубопровод с целью оценки его технического состояния.

Методика оценки технического состояния трубопроводов из альтернатив­ных материалов внедрена на ЦДНГ-5 (трубопроводы ПАТ-95, ПАТ-140) и ЦДНГ- 11 (ТСК- 75, ТСК-110) предприятия ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь».

Внедрение разработанной методики позволило повысить эффективность эксплуатации трубопроводов при одновременном улучшении технологичности его диагностирования, позволило сформировать структурный подход к решению важной научно-практической задачи, связанной с оценкой технического состоя­ния трубопроводов