

На правах рукописи



Калиниченко Алексей Николаевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА И АППАРАТУРЫ
АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ПРОХОЖДЕНИЯ ВНУТРИТРУБНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность: 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2010

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кулешов Валерий Константинович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Смирнов Геннадий Васильевич

доктор технических наук, профессор
Недавний Олег Иванович

Ведущая организация: ФГУП Сибирский научно-исследовательский
институт авиации им. С. А. Чаплыгина
(г. Новосибирск)

Защита состоится « 29 » декабря 2010 г. в 15 часов на заседании Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.09 при ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: Россия, 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд. 215 (актовый зал).

С диссертационной работой можно ознакомиться в научно-технической библиотеке государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан « ___ » ноября 2010 г.

Ученый секретарь Совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций,
кандидат технических наук, доцент

Винокуров Б.Б.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Строительство новых и модернизация действующих трубопроводных систем нефтегазового комплекса России предполагает улучшение работы контрольно-измерительных приборов и средств автоматики.

Внутритрубные объекты (ВТО) различного технологического назначения, движущиеся с потоком перекачиваемого продукта – механические разделители для перекачки нефти с различными физико-химическими свойствами, устройства для очистки полости трубы, профилемеры, дефектоскопы – достаточно широко используются при строительстве и эксплуатации трубопроводов.

Одной из проблем, связанных с использованием ВТО, является определение их местоположения при движении в трубопроводе в реальном времени. Контроль перемещения ВТО по трубопроводу необходим для решения ряда технологических задач. Знать положение устройства необходимо также в случае его остановки или застревания, чтобы целенаправленно и с наименьшими затратами организовать его извлечение либо проталкивание.

Цель работы – разработка метода и аппаратуры контроля прохождения ВТО контрольной точки акустическим методом.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие **основные задачи:**

- выявить закономерности формирования и распространения сигналов акустической эмиссии (АЭ) в стенке функционирующих нефте- и газопроводов, вызванных движением ВТО;
- провести теоретические и экспериментальные исследования параметров АЭ сигнала, полученного в результате прохождения ВТО;
- исследовать характеристики акустических шумов, наводимых работой трубопровода и условиями окружающей среды;
- разработать алгоритм регистрации прохождения ВТО и оценить его достоверность;
- разработать структурную схему акустического сигнализатора прохождения ВТО.

Методы исследования. При выполнении работы применялись как теоретические, так и экспериментальные методы исследования, которые могли способствовать решению поставленных задач. При исследовании характеристик сигналов АЭ применялись методы механических испытаний в разных режимах. В диссертации приведены результаты исследований, полученные с использованием методов цифровой обработки сигналов, теории вероятностей и случайных процессов.

Часть экспериментальных исследований выполнялись на магистральных нефтепроводах ОАО «Центрсибнефтепровод» на территории Томской области.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась на ЭВМ с помощью специального программного обеспечения.

Научная новизна. Решение поставленных задач определило новизну данной диссертационной работы, которая заключается в следующем:

- впервые экспериментально выявлены закономерности изменения параметров сигналов АЭ, возникающих в стенке трубопровода, в зависимости от условий фрикционного взаимодействия;

- получены зависимости, описывающие влияние воздействий, не связанных с движением ВТО, на сигнал АЭ, формируемый в стенке трубопровода;

- разработан алгоритм работы и структурная схема аппаратуры акустического контроля прохождения ВТО, которые обеспечивают максимальное отношение сигнала к шуму, уменьшают вероятность несрабатывания и ложного срабатывания сигнализатора, повышают помехоустойчивость и точность определения момента прохождения ВТО.

На защиту выносятся:

- утверждение, что на основании экспериментально полученных закономерностей изменения параметров сигналов АЭ, определена верхняя граница частотного диапазона, в котором необходимо регистрировать сигнал АЭ от прохождения ВТО, которая составляет 250 кГц;

- утверждение, что эффективная ширина полосы частот внешних акустических шумов, не связанных с движением ВТО, достигает 100 кГц, что определяет нижнюю границу частотного диапазона, в котором необходимо регистрировать сигнал АЭ от прохождения ВТО;

- алгоритм работы и структурная схема акустического сигнализатора прохождения ВТО, которые обеспечивают максимальное отношение сигнала к шуму, уменьшают вероятность несрабатывания и ложного срабатывания сигнализатора, повышают помехоустойчивость и точность определения момента прохождения ВТО.

Практическая ценность работы. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования параметров сигналов АЭ, возникающих при трении элементов ВТО о стенку трубопровода, которые позволяют разработать структурную схему акустического сигнализатора и алгоритм обработки сигналов АЭ от прохождения ВТО с улучшенными техническими характеристиками. На предложенное устройство получено решение о выдаче патента РФ на изобретение. Также проведенные исследования будут полезны при проектировании других систем автоматики и контроля.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты проведенных исследований используются при разработке новой модификации акустического сигнализатора прохождения внутритрубных объектов СПРА-4.

Достоверность полученных результатов обеспечивалась измерениями и испытанием на аттестованном оборудовании по требованиям ГОСТов, а так же применением стандартных методов статистической обработки.

Личный вклад автора состоит в постановке задач исследований; разработке устройств и средств испытательной аппаратуры; разработке алгоритмов обработки экспериментальных данных и теоретических исследований; анализе результатов экспериментов.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

– XIII Международная научно-практическая конференция «Качество-стратегия XXI века», г. Томск, 4 декабря 2008г.

– Международная научно-практическая конференция «Неразрушающий контроль и диагностика», г. Томск, 9 – 11 сентября 2008г.

– XVI Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», г. Томск, 12–16 апреля 2010г.

– II Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в методе акустической эмиссии», г. Москва, 8 – 12 ноября 2010г.

– XV Международная научно-практическая конференция «Качество-стратегия XXI века», г. Томск, 8 – 9 декабря 2010г.

Публикации. Основные результаты исследований отражены в 8 публикациях. Получено решение о выдаче патента РФ на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и электронных ресурсов из 99 библиографических ссылок. Работа содержит 141 страницу основного текста, 4 таблицы, 69 рисунков и 1 приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность, научная новизна и практическая значимость проблемы. Сформулированы цели и задачи работы, приведена краткая характеристика работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе изучено состояние вопроса, представлен аналитический обзор наиболее известных в настоящее время устройств для сигнализации прохождения ВТО и определения их местоположения в трубопроводе. Приведен патентный обзор различных способов и устройств, предназначенных для решения данной проблемы. Проанализированы тенденции развития технических систем сопровождения ВТО.

Анализ материалов первой главы показывает, что основные устройства можно разделить на две группы: контактные (механические) и бесконтактные (акустические и магнитные). По способу работы акустические приборы можно разделить на активные сигнализаторы (с излучателем, устанавливаемым на

ВТО) и пассивные сигнализаторы (без излучателя, устанавливаемого на ВТО), основанные на приеме акустической эмиссии, возникающей при трении элементов ВТО о стенку трубопровода.

Кроме описания перечисленных методов, в работе приведены их преимущества и недостатки, а также практическое применение в России и за рубежом.



Рисунок 1 – Классификация устройств для определения местоположения и сигнализации прохождения ВТО

Основные требования, которым должна удовлетворять аппаратура контроля за прохождением ВТО в трубопроводах, следующие:

- аппаратура должна быть максимально автоматизирована и работать в реальном масштабе времени. Выводить информацию о прохождении ВТО на диспетчерский пункт;
- аппаратура должна эффективно фиксировать момент прохождения ВТО контрольной точки и иметь высокую достоверность контроля (низкую вероятность ложного срабатывания сигнализатора и пропуска ВТО);
- на работу аппаратуры не должны влиять изменения параметров перекачиваемой среды (температура, вязкость, плотность), режимов перекачки (давление и расход), а также плотности и толщины отложений на внутренней поверхности труб;
- аппаратура должна обеспечивать конструкционную целостность трубопровода;
- аппаратура должна обеспечивать простоту и надежность обслуживания, а также отсутствие вредного воздействия на обслуживающий персонал и окружающую среду.

Также необходимо учитывать, что глубина залегания трубопроводов в грунте составляет от 1,8 до 3 м, толщина стенок трубопроводов от 8 до 30 мм. Сигнализатор должен обнаруживать ВТО, движущийся по трубопроводу со скоростями от 0,1 до 6 м/с, однако при случайных ускорениях скорость ВТО может достигать до 10,0 м/с.

Среди методов и средств, позволяющих бесконтактно регистрировать прохождение ВТО, наибольшее распространение получили акустические пассивные приборы СПРА-4 (НИИ интроскопии г. Томск) и ДПС-7В (ООО «Научно-техническое предприятие Инженерно-производственный центр»).

Из-за недостаточной изученности АЭ, возникающей при прохождении ВТО по трубопроводу, не определены некоторые технические характеристики устройств – минимальная и максимальная скорости движения ВТО при регистрации, точность регистрации момента прохождения ВТО контрольной точки, достоверность контроля.

Для создания новой аппаратуры сигнализации прохождения ВТО контрольной точки необходимо решить следующие задачи:

- на основе теоретических и экспериментальных исследований изучить АЭ, возникающую при трении элементов ВТО о стенку трубопровода;
- оценить оптимальный частотный диапазон регистрации прохождения ВТО;
- исследовать параметры акустических шумов, возникающих от ударов о стенку трубопровода, проходящих транспортных средств и т.д.;
- предложить алгоритм обработки сигналов АЭ, позволяющий на фоне акустических шумов достоверно регистрировать момент прохождения ВТО контрольной точки.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям возможности бесконтактного контроля прохождения ВТО на основе регистрации сигналов АЭ.

Выявлены закономерности формирования и распространения сигналов АЭ вызванных трением элементов ВТО о стенку трубопровода (рисунок 2), согласно которым основным источником АЭ являются фрикционные автоколебания, которые поддерживаются за счет соударения микровыступов элементов ВТО и стенки трубопровода. Анализ источников АЭ показывает, что их энергия определяется природой взаимодействующих материалов и условиями взаимодействия контактирующих поверхностей.

На основе анализа информативных параметров сигналов АЭ предложен подход, основанный на сопоставлении амплитуд нескольких спектральных составляющих процесса АЭ, совпадающих с основными собственными частотами применяемых датчиков.

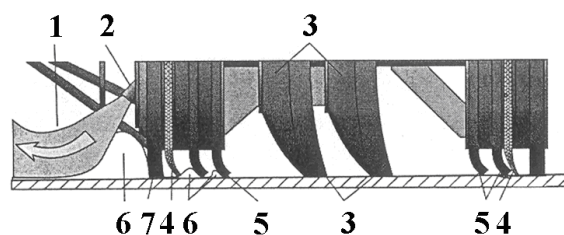


Рисунок 2 – Работа щеточного очистного устройства с размывом отложений: 1 – струя продукта перекачки; 2 – сопло для размыва отложений; 3 – манжеты; 4 – диск щеточный; 5 – диск чистящий; 6 – отложения; 7 – диск ведущий.

По работам Баранова В.М. и Щавелина В.М. рассмотрено влияние характера фрикционного взаимодействия на параметры акустической эмиссии, которая фактически зависит от трех параметров: скорости взаимного скольжения тел, отношения среднеквадратических отклонений случайных функций, описывающих форму поверхностей, и относительной силы прижатия поверхностей.

Вид амплитудного распределения при различных значениях скорости взаимного скольжения и силы прижатия показан на рисунках 3 и 4.

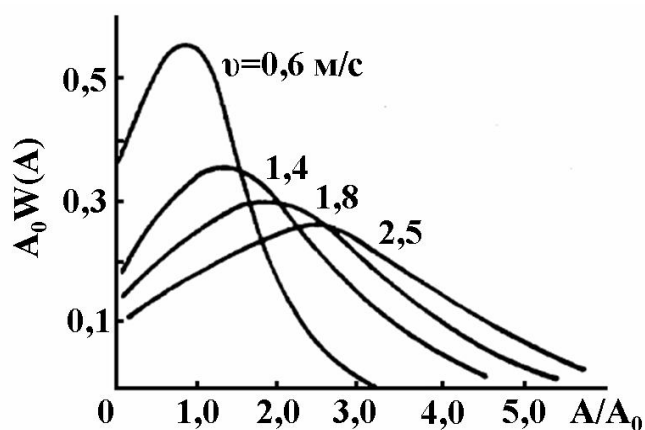


Рисунок 3 – Изменение амплитудного распределения АЭ-сигналов в зависимости от скорости скольжения поверхностей

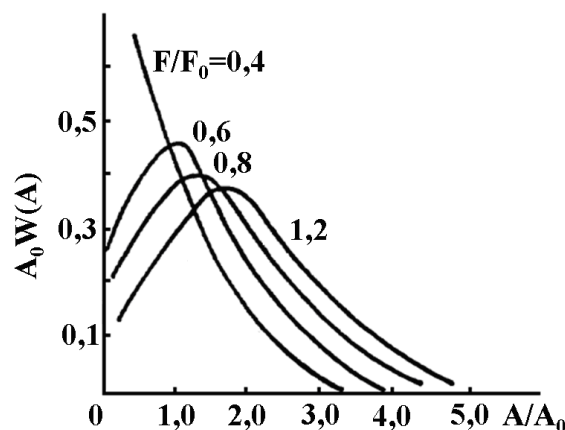


Рисунок 4 – Изменение амплитудного распределения АЭ-сигналов в зависимости от силы прижатия поверхностей

С ростом скорости скольжения увеличивается скорость счета импульсов АЭ, причем разброс данных возрастает как с увеличением скорости движения, так и с увеличением нагрузки в паре трения.

Значительный разброс скорости счета можно объяснить следующими соображениями. Известно, что воспроизводимость результатов фрикционных испытаний не высока. В частности, в обычных атмосферных условиях имеет место существенный разброс значений коэффициента трения. Он обусловлен тем, что на фрикционные свойства поверхностей оказывает влияние большое число факторов, меняющихся даже при постоянных нагрузках и скоростях скольжения. Еще в большей степени эти факторы влияют на параметры АЭ,

которые более чувствительны к процессам в зоне фрикционного контакта, чем коэффициент трения. Кроме того, АЭ при трении представляет собой непрерывный случайный процесс, а при измерениях АЭ регистрируются выбросы этого процесса, превышающие определенный уровень дискриминации.

Анализ зависимости среднего значения активности АЭ от среднего арифметического отклонения профиля поверхности можно провести согласно зависимостям, полученными Щавелиным В.М., связывающим среднее число пятен контакта и их средний размер с приложенной нагрузкой, геометрическими характеристиками и физико-механическими свойствами контактирующих поверхностей. Для случая упругого контактирования двух небольших шероховатых поверхностей, когда волнистостью можно пренебречь, имеем:

$$M[\dot{N}] = K \frac{P^{0.71} \Theta^{0.71} A_c^{0.29}}{r^{0.9} R_a^{1.6}} v. \quad (1)$$

Результаты экспериментальных исследований качественно подтверждают соотношение (1). Зависимость скорости счета АЭ в установившемся режиме от среднего арифметического отклонения профиля поверхности показана на рисунке 5.

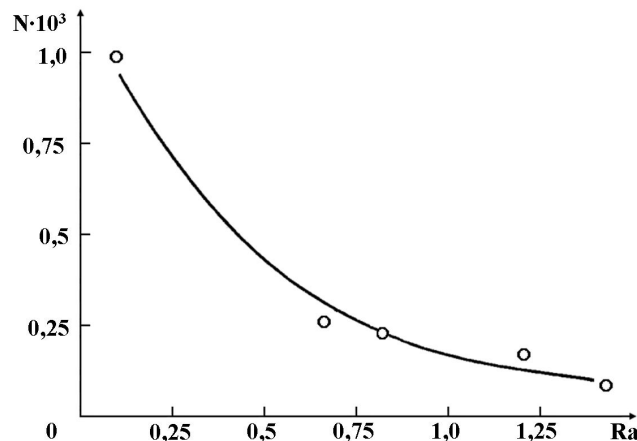


Рисунок 5 – Зависимость скорости счета АЭ от параметра шероховатости R_a .
Пара трения: диск – ЛС59, палец – ЛС59; без смазки

Таким образом, можно сделать вывод, что среднеквадратическое значение колебаний нормальной силы слабо зависит от средней нормальной нагрузки, а повышается с увеличением скорости и снижением шероховатости.

Особенностью распространения АЭ, генерируемой, в оболочках трубопроводов, является то, что АЭ, достигает приемного преобразователя различными путями, каждый из которых характеризуется скоростью распространения АЭ и коэффициентом их поглощения.

Скорость распространения сигналов АЭ, в основном, обусловлена типом перекачиваемого по трубопроводу продукта. Например, в трубопроводе с

нефтью скорость распространения акустической волны можно вычислить по зависимости:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho(1 + \frac{d \cdot E}{\delta \cdot E_{ст}})}}, \quad (2)$$

где δ – толщина стенки трубопровода; d – внутренний диаметр трубопровода; E и $E_{ст}$ – модули упругости нефти и материала трубы. Для параметров трубопровода и нефти $d = 0,82$ м, $\delta = 0,01$ м, $E_{ст} = 2,6 \cdot 10^{11}$ Н/м², $E = 2,0 \cdot 10^9$ Н/м² она составит порядка 1200 м/с.

Кроме скорости распространения сигналов другой важнейшей характеристикой акустического тракта является ослабление сигнала.

Анализ существующих теоретических представлений и экспериментальных исследований позволил установить, что зависимость коэффициента поглощения от частоты достаточно сильная, что следует из формулы (3) – коэффициент поглощения пропорционален квадрату частоты.

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\rho c^3} \left[\left(\xi + \frac{4}{3} \eta \right) + \frac{\gamma - 1}{c_p} \chi \right], \quad (3)$$

На рисунке 6 приведены графики зависимости коэффициента затухания α , от радиуса R трубы при различных значениях толщины стенки – δ , на рисунке 7 – графики зависимости коэффициента затухания от толщины стенки трубы при различных значениях радиуса трубы.

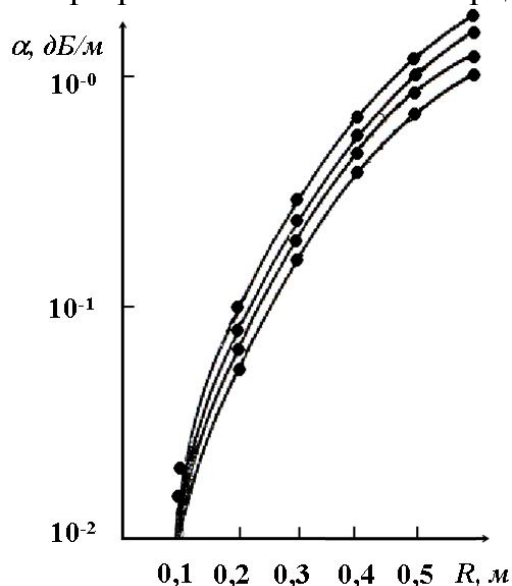


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента затухания от радиуса трубы при различных значениях толщины стенки:
1 – $\delta = 8$ мм; 2 – 10 мм; 3 – 14 мм;
4 – 20 мм

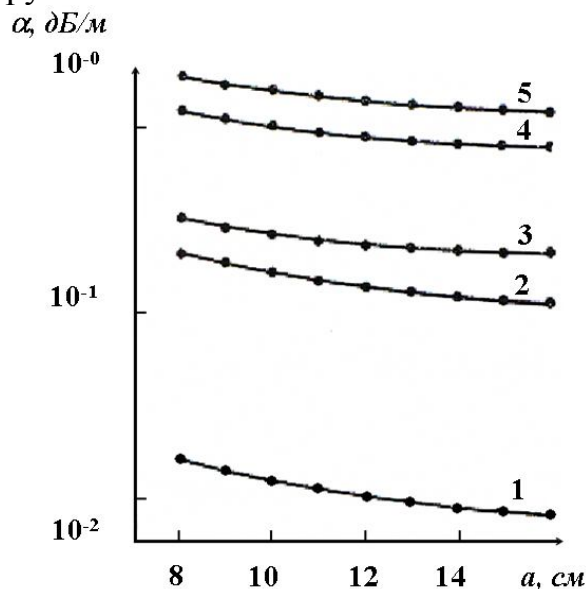


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента затухания от толщины стенки при различных значениях радиуса трубы:
1 – $R = 0,1$ м; 2 – 0,25 м; 3 – 0,3 м;
4 – 0,5 м; 5 – 0,6 м

Из графиков следует, что с увеличением диаметра трубы величина затухания резко растет, а с увеличением толщины стенки, наоборот, уменьшается. Это объясняется, во-первых, соотношением площадей сечений:

$$2\pi R/\pi R^2 = 2\delta/R. \quad (4)$$

Во-вторых, соотношением плотностей энергии волны в стенках трубы и внутри трубы:

$$|v_r|^2 / |v_l|^2 \approx v_p^2 R_1^4 / \delta^2. \quad (5)$$

Также коэффициент поглощения зависит от расстояния до источника сигнала, причем эта зависимость носит нелинейный характер. Таким образом коэффициент поглощения зависит не только от типа перекачиваемого продукта, но и типа окружающего грунта и геометрических размеров трубопровода.

В ходе анализа материалов второй главы было выявлено, что из-за большого количества факторов, влияющих на АЭ, достаточно трудно теоретически рассчитать какой будет амплитудно-частотный спектр АЭ при прохождении ВТО по трубопроводу. Для определения этих параметров необходимы экспериментальные исследования в натуральных условиях.

Третья глава посвящена проведению экспериментальных исследований параметров АЭ сигналов, полученных в результате прохождения ВТО. Для этого была разработана и смонтирована на участке трубопровода лабораторная установка (рисунок 8). Установка была размещена в отрезке трубы диаметром 1020 мм, толщина стенки – 10 мм.

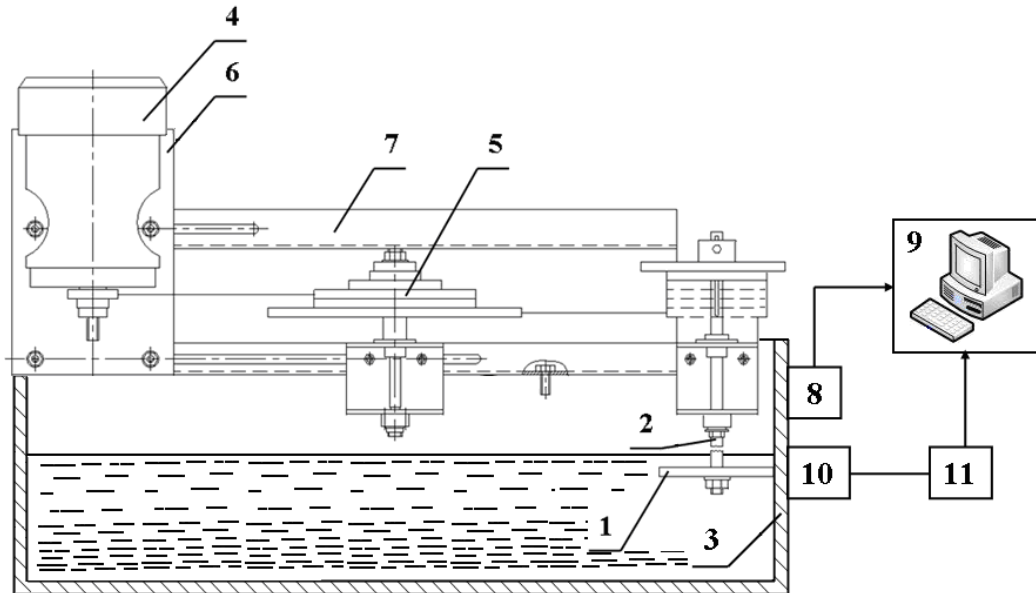


Рисунок 8 – Принципиальная схема экспериментальной установки:

- 1 – испытуемый образец; 2 – вал для крепления испытуемого образца;
 3 – участок трубопровода; 4 – электродвигатель; 5 – ременная передача со шкивами;
 6 – стойка; 7 – направляющие; 8 – датчик для замера скорости вращения;
 9 – персональный компьютер; 10 – приемный преобразователь;
 11 – аналого-цифровой преобразователь

В качестве приемных преобразователей был взят набор резонансных пьезопреобразователей из пьезоматериала ЦТС-19, которые полностью перекрыли частотный диапазон, в котором проводились исследования.

Испытания образцов проводились по схеме диск – плоскость: образец из исследуемого материала (диск с наружным диаметром 150 мм) скользит по поверхности участка трубопровода с заданными линейными скоростями: 0,3; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 и 5 м/с.

Исходя из опыта применения стандартных типов ВТО, были изготовлены образцы из следующих материалов: щеточный диск из отрезков стального троса; щеточный диск с гибкой металлической щетиной; диск из высокоэластичной, износостойкой, устойчивой к действию топлива и масел резины и диск из полиуретана – материала приходящего на смену резине (очистка от парафиносодержащих отложений).

Тестирование установки производилось без контакта образец – стенка трубопровода. Полученный при помощи вышеописанной аппаратуры спектр акустических шумов установки практически не отличается от собственных шумов датчика, что позволяет работать только с исследуемым акустическим сигналом, полученным в результате трения исследуемого образца о стенку участка трубопровода.

Исследование влияния материала, скорости и среды на параметры АЭ при трении проводились в следующей последовательности. На наружную стенку участка трубопровода, напротив места контакта фрикционной пары, монтировался блок акустического датчика с пьезопреобразователем, настроенным на определенную частоту.

Испытуемый образец жестко крепился на валу экспериментальной установки. При помощи ременной передачи со шкивами выбиралась необходимая скорость вращения и включался электродвигатель. Затем с помощью прижимного устройства обеспечивался контакт образца со стенкой трубопровода. Акустический сигнал, генерируемый фрикционной парой, регистрировался приемным преобразователем, после чего преобразованные сигналы поступали на персональный компьютер для обработки и последующей записи. Затем производилась остановка установки и смена образца. После проведения испытаний всех образцов менялась скорость относительного скольжения фрикционной пары. На следующем этапе испытаний участок трубопровода заполнялся жидкостью и проделывались вышеописанные операции для всех образцов и скоростей скольжения. После этого проводили смену пьезопреобразователя. В ходе испытаний регистрировались частотные спектры непрерывной АЭ и сопоставлялись амплитуды их различных частотных составляющих.

На основе полученных экспериментальных данных были выявлены закономерности распределения частотных спектров непрерывной АЭ для установившихся режимов трения различных материалов, достигнутых при

соответствующих скоростях скольжения для жидкой и газообразной сред (рисунок 9).

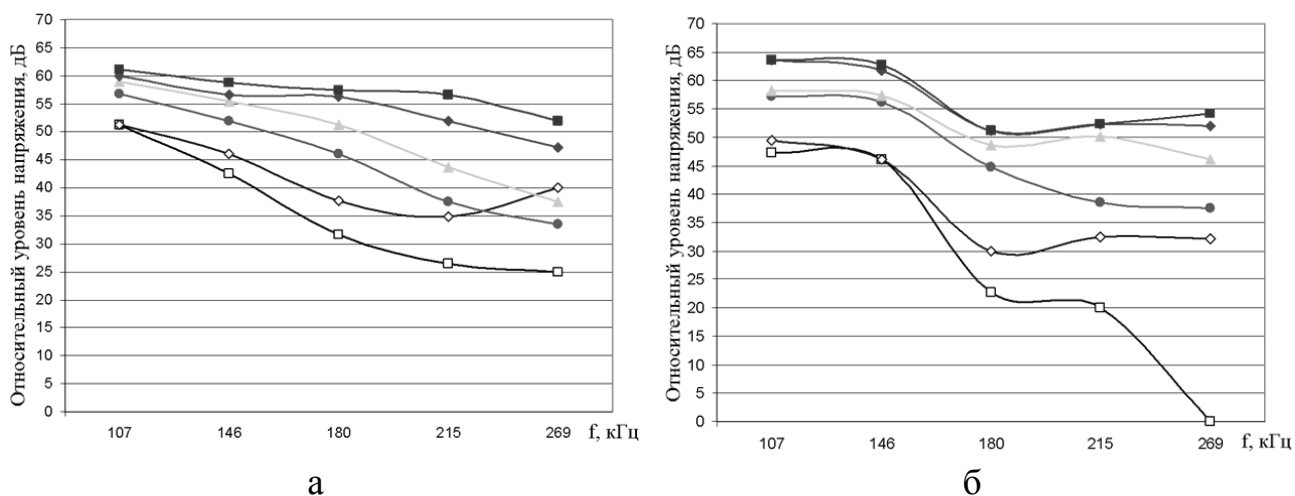


Рисунок 9 – Распределение частотных спектров сигналов, полученных от образцов из резины в жидкой (а) и в газообразной среде (б), в зависимости от различных скоростей скольжения: \square – 0,3 м/с; \diamond – 0,5 м/с; \bullet – 1,0 м/с; \blacktriangle – 2,0 м/с; \blacklozenge – 3,0 м/с; \blacksquare – 5,0 м/с

Полученные результаты показывают, что любое перемещение ВТО по трубопроводу вызывает возникновение сигналов АЭ. Анализ распределения частотных спектров показывает, что увеличение скорости скольжения испытуемых материалов относительно участка стенки трубопровода, как в отсутствие, так и при наличии жидкости, приводит к увеличению амплитуды по всему спектру регистрируемых частот.

Сигналы АЭ, полученные при трении, являются результатом суперпозиции упругих колебаний, генерируемых на реальных областях контакта, их резонанса на собственных частотах фрикционной системы и т.д. Значит экспериментально регистрируемые акустические колебания являются интегральной характеристикой всей системы. В связи с этим качественная зависимость амплитудно-частотных характеристик сигналов АЭ, полученных на лабораторном стенде была подтверждена на полевом стенде, условия расположения и конструкция которого имитировали действующий трубопровод (рисунок 10).

Чтобы обнаружить акустические сигналы нужно знать характеристики шумового фона в оболочке действующего трубопровода. К шумовым помехам относятся: шумы, создаваемые турбулентностью перекачиваемого потока жидкости; кавитационные шумы, возникающие, когда неустановившиеся процессы в потоке обуславливают образование и схлопывание парогазовых полостей; шумы окружающей среды, возникающие вследствие размыва трубопровода; шумы от ударов. При этом наблюдаемая при проведении контроля помеха является суперпозицией всех источников шума.

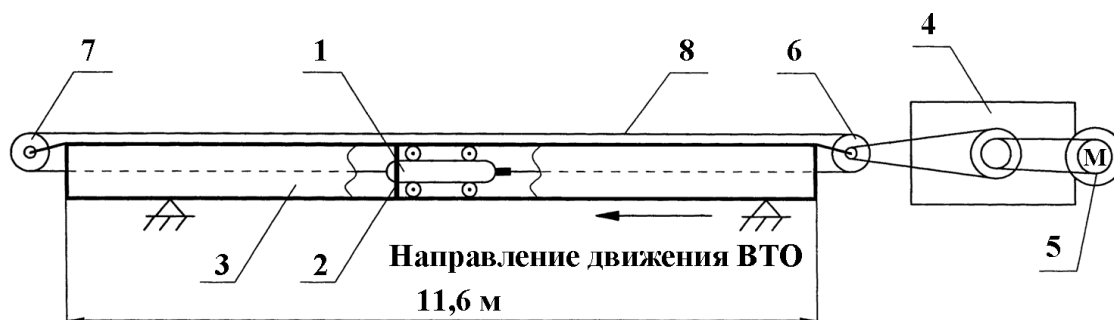


Рисунок 10 – Схема полевого стенда: 1 – ВТО; 2 – манжета из исследуемого материала; 3 – трубопровод 325x7 мм; 4 – редуктор на шкивах; 5 – электродвигатель; 6 – ведущий шкив; 7 – ведомый шкив; 8 – шнур для протягивания ВТО

Эффективная ширина полосы частот (ширина спектра, в пределах которой сосредоточена основная доля $\approx 90\%$ энергии сигнала) помех, вызванных работой трубопровода, может достигать 60 кГц, их мощность с повышением частоты снижается. Огибающая спектра помехи с 10 % относительной погрешностью изменяется по экспоненциальному закону: $e^{(-kf)}$ ($k = 6 \cdot 10^{-4}$ кГц $^{-2}$, f - частота, кГц). Основная энергия шумового сигнала сосредоточена в низкочастотной области спектра до 30 кГц.

Экспериментальные исследования влияния атмосферных осадков на параметры акустических шумов показали, что эффективная ширина спектра лежит в пределах 100 кГц (рисунок 11).

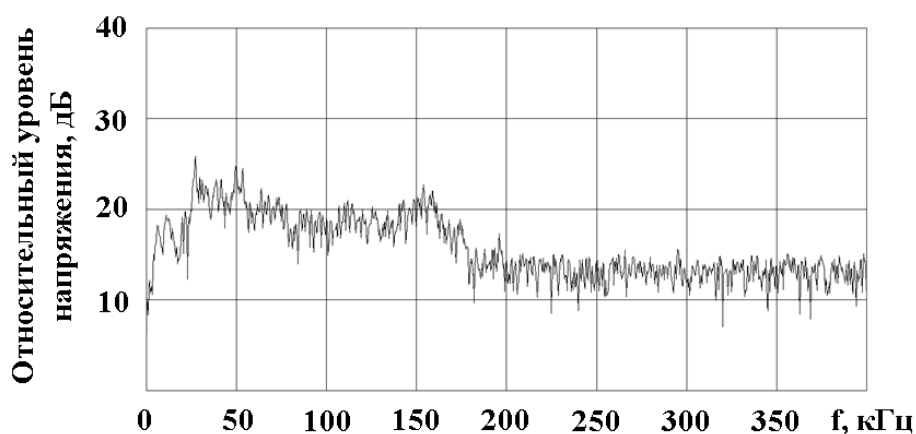


Рисунок 11 – Спектральный состав акустических сигналов от атмосферных осадков в виде снега

Проанализировав АЧХ акустических сигналов генерируемых при прохождении ВТО и акустических шумов, возникающих в трубопроводе, можно сделать вывод, что сигнал от прохождения ВТО, при нормальном режиме перекачки продукта по магистральному трубопроводу (скорость перекачки нефти от 1 до 2 м/с, газа от 1 до 5 м/с), можно уверенно регистрировать на фоне шумов трубопровода и собственных шумов аппаратуры, на частотах от 100 до 250 кГц (рисунок 12).

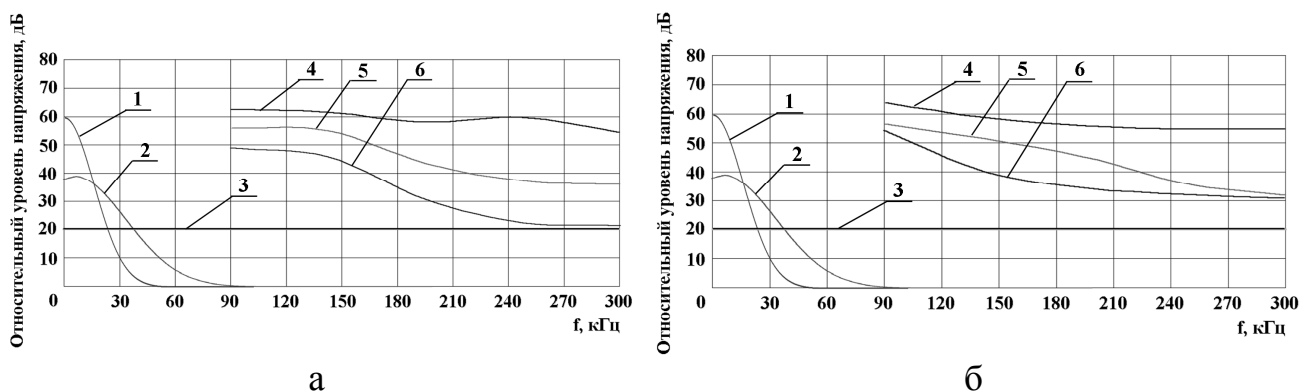


Рисунок 12 – Амплитудно-частотные характеристики акустических сигналов, возникающих в трубопроводе, заполненном газообразной (а) и жидкой (б) средами, при скорости перекачиваемого продукта 1 м/с: 1 – собственные шумы трубопровода; 2 – шумы, вызванные атмосферными осадками; 3 – шум аппаратуры; 4 – образец из металлической щетки; 5 – образец из резины; 6 – образец из полиуретана

В конечном счете, результаты проведенных лабораторных и полевых экспериментов позволили перейти к натурным экспериментам, проведенным в условиях действующего нефтепровода. Испытания проводились на узле подключения нефтеперекачивающей станции «Орловка» к магистральному нефтепроводу Александровское – Анжеро-Судженск (690 км). Скорость перемещения нефти 0,74 – 0,75 м/с. Температура воздуха +10 °С.

В результате испытаний произведена запись сигналов с выхода акустического датчика перед прохождением ВТО и в момент их прохождения (рисунок 13). Также произведена запись калибровочного акустического сигнала, введенного в трубопровод по амплитуде равной порогу срабатывания аппаратуры. Сигналы АЭ по амплитуде достаточны для достоверной регистрации прохождения ВТО. Порог регистрации ВТО установлен оптимально, т.е. не было зафиксировано пропусков и ложных срабатываний.

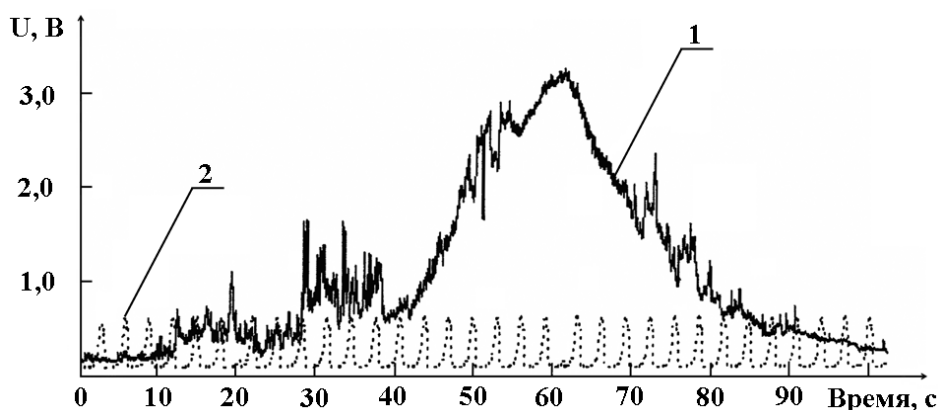


Рисунок 13 – Сигнал на выходе акустического датчика в момент прохождения очистного устройства типа СКР-3 к месту установки датчика: 1 – сигнал очистного устройства; 2 – калибровочный сигнал, равный по амплитуде порогу срабатывания аппаратуры

В четвертой главе изложены рекомендации по усовершенствованию акустического сигнализатора прохождения ВТО.

При разработке метода и аппаратуры для сигнализации прохождения ВТО, в качестве прототипа использовался сигнализатор прохождения разделителей акустический «СПРА-4». Для выработки рекомендаций по усовершенствованию был рассмотрен алгоритм работы прототипа в котором реализованы частотный, амплитудный и временной виды селекции сигнала при прохождении ВТО на фоне помех и ложных сигналов. На основании проведенного анализа сделан вывод, что алгоритм работы прототипа не позволяет избавиться от помехи, сигнал которой обладает достаточно высокой амплитудой и длится в течение продолжительного времени, а также не обеспечивает необходимой точности определения момента прохождения ВТО контрольной точки.

С целью решения задачи разработки алгоритма регистрации прохождения ВТО акустическим сигнализатором, а также повышения достоверности контроля, предложено устройство, структурная схема которого представлена на рисунке 14, на которое получено решение о выдачи патента РФ на изобретение.

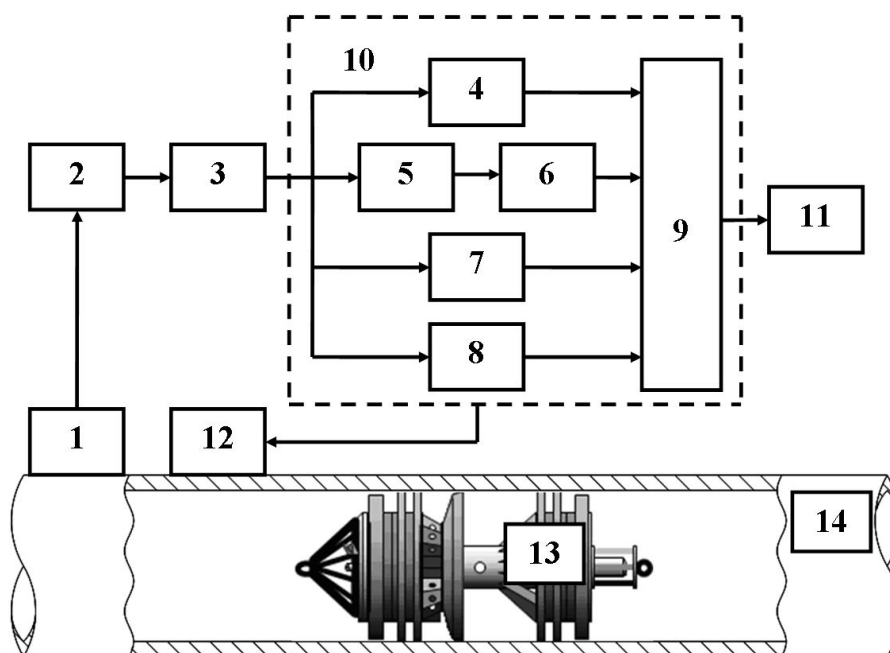


Рисунок 14 – Структурная схема контроля прохождения ВТО: 1 – приемный преобразователь; 2 – усилитель; 3 – узкополосный фильтр; 4 – пороговое устройство; 5 – формирователь импульсов; 6 – счетчик импульсов; 7 – блок анализа огибающей; 8 – блок обработки огибающей; 9 – сумматор; 10 – микроконтроллер; 11 – исполнительный элемент; 12 – блок самоконтроля работоспособности; 13 – ВТО; 14 – трубопровод

При движении ВТО в трубопроводе возникает АЭ вследствие трения ВТО о стенку трубопровода. Приемный преобразователь, установленный на

внешней стенке трубопровода, преобразует акустические колебания в электрический сигнал, огибающая спектра которого представлена на рисунке 15, и подает его в широкополосный усилитель. Усиленный во всем диапазоне частот сигнал с усилителя подается на полосовой фильтр, огибающая спектра сигнала будет иметь форму, показанную на рисунке 15.

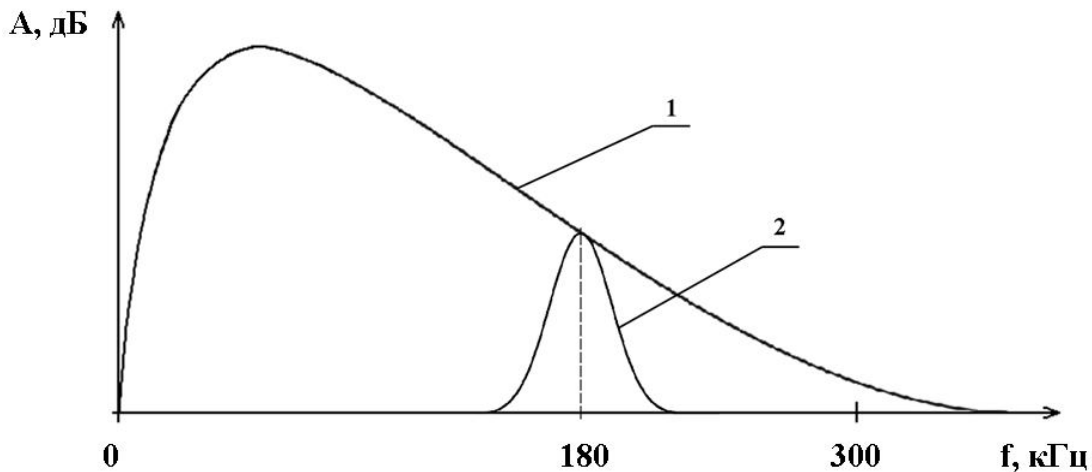


Рисунок 15 – Частотные диаграммы: 1 – огибающая спектра акустических колебаний, возникающих при движении ВТО; 2 – форма огибающей спектра сигнала после прохождения полосового фильтра

Принимая во внимание теоретический анализ сигналов АЭ, приведенный в главе 2, а также экспериментальные исследования, результаты которых приведены в главе 3, был определен диапазон частот для регистрации момента прохождения ВТО, который составил около 180 кГц.

Амплитудная и временная селекция реализуются аналогично алгоритму, указанному в прототипе (рисунок 16): в случае превышения огибающей сигнала порогового уровня, в пороговом устройстве вырабатывается сигнал, необходимый только для фиксации движения ВТО, а также включается формирователь импульсов. При достижении определенного количества непрерывной последовательности импульсов, счетчик формирует сигнал о прохождении ВТО.

Для того, чтобы аппаратура не давала ложных срабатываний от помехи, акустический сигнал которой обладает достаточно высокой амплитудой и длится в течение продолжительного времени, предлагается вводить в состав аппаратуры блок анализа огибающей, который анализирует форму огибающей акустического сигнала от прохождения ВТО и сравнивает с эталонной, образ которой заложен в память аппаратуры и имеет несколько характерных областей (рисунок 17).

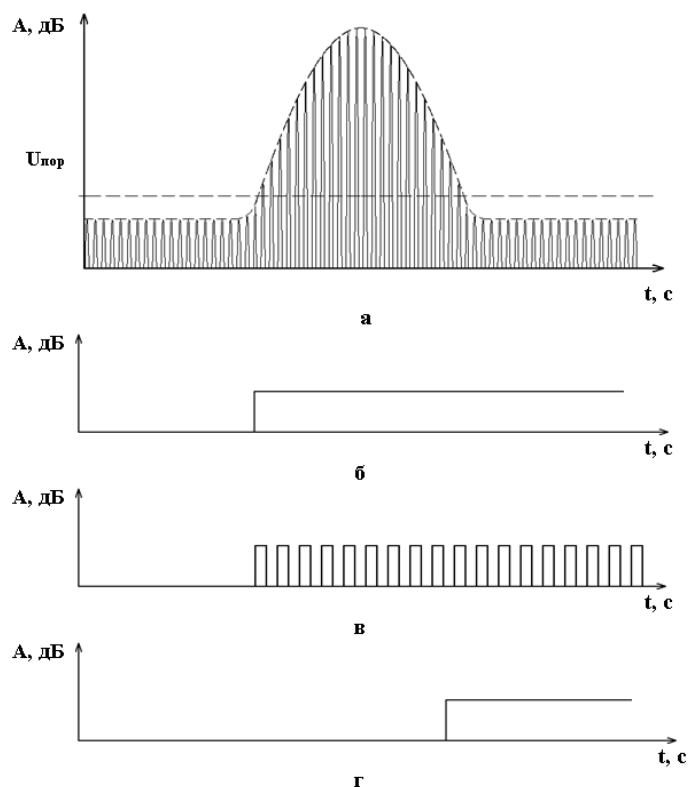


Рисунок 16 – Амплитудная и временная селекция сигнала от прохождения ВТО на фоне помех и ложных сигналов: а – превышение огибающей сигнала порогового уровня; б – сигнал, сформированный при превышении огибающей порогового уровня; в – короткие импульсы, генерируемые формирователем импульсов, при превышении сигналом порогового уровня; г – сигнал, сформированный при достижении определенного количества непрерывной последовательности импульсов

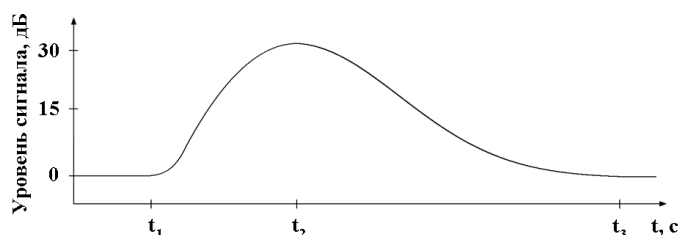


Рисунок 17 – Временная зависимость огибающей акустического сигнала от прохождения ВТО

Момент времени t_1 соответствует началу зоны приема акустического сигнала от ВТО приемным преобразователем. В момент времени t_2 , соответствующий моменту прохождения ВТО места установки датчика, наблюдается максимальное значение акустического сигнала. Выход ВТО из зоны приема соответствует t_3 , причем момент максимального уровня сигнала будет смещен влево, относительно временного центра зоны регистрации. У помех с плавным увеличением и ослаблением уровня сигнала такой зависимости наблюдаться не будет. Такая зависимость огибающей акустического сигнала от прохождения ВТО позволяет выделить характерную

точку – точку экстремума, лежащую внутри зоны приема датчика, в которой уровень огибающей принимает большее (максимальное) значение, по сравнению со значениями в соседних интервалах времени. Включение в состав аппаратуры специального блока – блока обработки огибающей позволит вычислить момент времени, в котором огибающая переходит от возрастания к убыванию, а, соответственно, и момент прохождения ВТО контрольной точки. Причем, чем четче будет выражен момент перехода (что определяется длительностью зоны приема датчиком акустического сигнала), тем точнее можно определить относительный и абсолютный момент времени прохождения ВТО.

Для повышения достоверности все линии анализа акустического сигнала включаются по логической схеме «И». В случае если в сумматор поступили сигналы со всех четырех блоков (порогового устройства, блока временной селекции и блоков обработки и анализа огибающей), то на исполнительный элемент подается единый управляющий сигнал о прохождении ВТО.

Также устройство осуществляет непрерывный самоконтроль работоспособности при помощи блока самоконтроля работоспособности, включающего в себя имитатор сигналов, выполненный на электромагнитном акустическом преобразователе, который позволяет бесконтактно вводить акустические колебания в стенку трубы. Это делает не нужным проведение контроля работоспособности перед пуском внутритрубного объекта, что делает устройство удобным в эксплуатации.

Такое устройство акустического сигнализатора обеспечивает максимальное отношение сигнала к шуму, уменьшает вероятность несрабатывания (пропуска) или ложного срабатывания сигнализатора, за счет чего повышается помехоустойчивость и точность определения момента прохождения ВТО через контрольную точку.

Благодаря указанным особенностям аппаратуры обеспечивается более высокая достоверность обнаружения момента прохождения ВТО по трубопроводу, чем у прототипа. Наличие непрерывного самоконтроля делает не нужным проведение контроля работоспособности устройства перед пропуском ВТО.

На основании предложенного алгоритма работы выработаны рекомендации по усовершенствованию акустического сигнализатора прохождения ВТО СПРА-4, основанные на концепции «интеллектуального датчика», который представляет собой единый и независимый комплекс аппаратно-программных средств, способных решать поставленную перед всей системой задачу, учитывая особенности трубопроводов с разными типами перекачиваемого продукта и вида пропускаемого ВТО.

Также выполнена качественная оценка вероятности пропуска и ложной фиксации момента прохождения ВТО контрольной точки из которой видно, что благодаря указанным признакам разработанной аппаратуры обеспечивается

более высокая достоверность обнаружения момента прохождения ВТО по трубопроводу, чем у прототипа.

В заключении сформулированы выводы по диссертационной работе.

В приложении диссертации приведен акт реализации научных положений и выводов кандидатской диссертации.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложена совокупность теоретических и экспериментальных исследований возникновения сигналов АЭ, происходящих при движении ВТО. Показано, что основным источником АЭ является трение манжеты ВТО о стенку трубопровода. Возникающие в результате такого взаимодействия фрикционные автоколебания, поддерживаются за счет соударения микровыступов элементов ВТО и стенки трубопровода. На основе анализа информативных параметров сигналов АЭ предложен подход, основанный на сопоставлении амплитуд нескольких спектральных составляющих процесса АЭ, совпадающих с основными собственными частотами применяемых датчиков.

2. Спроектирована лабораторная установка для проведения экспериментальных исследований параметров АЭ сигналов, полученных в результате прохождения ВТО. Предложена аппаратура для регистрации параметров АЭ.

3. На основе полученных экспериментальных данных выявлены закономерности распределения частотных спектров непрерывной АЭ для установившихся режимов трения различных материалов, достигнутых при соответствующих скоростях скольжения для жидкой и газообразной сред. Полученные результаты показывают, что любое перемещение ВТО по трубопроводу вызывает возникновение сигналов АЭ. Анализ распределения частотных спектров показывает, что увеличение скорости скольжения испытуемых материалов относительно участка стенки трубопровода, как в отсутствие, так и при наличии жидкости, приводит к увеличению амплитуды по всему спектру регистрируемых частот. Качественная зависимость амплитудно-частотных характеристик сигналов АЭ, полученных на лабораторном стенде подтверждена на полевом стенде и в натуральных условиях на действующем трубопроводе.

4. Выбраны оптимальные частоты регистрации прохождения ВТО по сигналам АЭ. Проанализированы акустические шумы, обусловленные течением продукта по трубопроводу и атмосферными осадками, влияющие на достоверность контроля прохождения ВТО. Установлено, что сигнал от прохождения ВТО при нормальном режиме перекачки продукта по магистральному трубопроводу можно уверенно регистрировать на фоне шумов трубопровода и собственных шумов аппаратуры на частотах от 100 до 250 кГц.

5. Предложена структурная схема акустического сигнализатора и алгоритм обработки сигналов АЭ от прохождения ВТО, которые обеспечивают максимальное отношение сигнала к шуму, уменьшают вероятность несрабатывания (пропуска) и ложного срабатывания сигнализатора, повышают помехоустойчивость и точность определения момента прохождения ВТО через контрольную точку. На предложенное устройство получено решение о выдаче патента РФ на изобретение. Предложены рекомендации по усовершенствованию акустического сигнализатора прохождения ВТО СПРА-4, основанные на концепции «интеллектуального датчика», который представляет собой единый и независимый комплекс аппаратно-программных средств, способных решать поставленную перед всей системой задачу, учитывая особенности трубопроводов с разными типами перекачиваемого продукта и вида пропускаемого ВТО.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Калиниченко, А. Н. Обзор современных технологий контроля регистрации прохождения внутритрубных объектов (ВТО) по трубопроводу / А. Н. Калиниченко // Репутация & качество, 2008. – № 11 Спецвыпуск : Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Качество-стратегия XXI века». – С. 195–200.

2. Калиниченко, А. Н. Анализ возможности бесконтактной регистрации прохождения внутритрубных объектов (ВТО) по трубопроводу / А. Н. Калиниченко, Б. М. Лапшин // Известия Томского политехнического университета, 2008. – Т. 312, № 2. – С. 182–188.

3. Калиниченко, А. Н. Установка для исследования акустических сигналов, возникающих при прохождении внутритрубных объектов / А. Н. Калиниченко, Б. М. Лапшин // Современные техника и технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 3-х томах – Томск, ТПУ, 12–16 апреля 2010. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – Т. 3. – С. 99–101.

4. Устройство акустического контроля прохождения внутритрубных объектов : заявка 2009131795 Рос. Федерация : МПК F17D5/06 / А. Н. Калиниченко, Б. М. Лапшин, А. С. Чекалин. – № 2009131795/06 ; заявл. 21.08.2009.

5. Калиниченко, А. Н. Акустическая эмиссия при трении манжеты внутритрубного объекта о стенку трубопровода / А. Н. Калиниченко, Б. М. Лапшин // В мире неразрушающего контроля. – 2010. – № 4(50).

6. Калиниченко, А. Н. Влияние характера фрикционного взаимодействия элементов внутритрубных объектов и стенки трубопровода на параметры акустической эмиссии / А. Н. Калиниченко // Качество-стратегия XXI века: Материалы XV Международной научно-практической конференции – Томск, 8–9 декабря 2010. – Томск: Изд. ТПУ, 2010.

7. Калиниченко, А. Н. Акустический шум действующего трубопровода / А. Н. Калиниченко, В. К. Кулешов // Качество-стратегия XXI века: Материалы XV Международной научно-практической конференции – Томск, 8–9 декабря 2010. – Томск: Изд. ТПУ, 2010.

8. Калиниченко, А. Н. Особенности распространения сигналов акустической эмиссии в оболочках трубопроводов / А. Н. Калиниченко // Качество-стратегия XXI века: Материалы XV Международной научно-практической конференции – Томск, 8–9 декабря 2010. – Томск: Изд. ТПУ, 2010.