

УДК 622.692.4

На правах рукописи

ГОЛЬЯНОВ АРТЁМ АНДРЕЕВИЧ

**ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТА УТЕЧЕК В МАГИСТРАЛЬНЫХ
НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДАХ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩИХ
ИМПУЛЬСОВ ДАВЛЕНИЯ**

**Специальность 25.00.19 - Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа 2004

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Шаммазов Айрат Мингазович

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Гумеров Асгат Галимьянович
- кандидат технических наук,
профессор Брот Роберт Александрович

Ведущее предприятие - ОАО «Уралтранснефтепродукт»

Защита состоится 21 октября 2004 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу:
450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан сентября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор

Ю.Г. Матвеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Магистральные трубопроводы занимают значительное место в общей транспортной системе страны. По нефтепроводам и нефтепродуктопроводам осуществляется транспортировка более 50% всех нефтегрузов. Развитие сети магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов сопровождается непрерывным повышением уровня их технической оснащенности, широким внедрением современных средств компьютеризации и автоматизации процессов перекачки. Отечественный опыт показывает, что с внедрением систем телемеханики на магистральных трубопроводах их надежность значительно возрастает.

В перспективе магистральные трубопроводы остаются основным видом транспорта нефтегрузов. Развитие трубопроводного транспорта неразрывно связано с выполнением комплекса мероприятий по охране окружающей среды на принципиально новых научно-технических основах проектирования, строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов. Несмотря на очевидные преимущества трубопроводного транспорта, при транспортировании нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам имеет место загрязнение атмосферы, водоемов и почвы. В связи с этим серьезное внимание уделяется сокращению потерь на магистральных трубопроводах.

Как правило, потери связаны с нарушением правил эксплуатации, повреждением трубопроводов от коррозии, несвоевременным ремонтом, стихийными бедствиями и т.п. В последние годы в практике трубопроводного транспорта нефтепродуктов и даже нефти участились случаи несанкционированных врезок в трубопровод с целью хищения нефти и нефтепродуктов.

В связи с этим особое значение приобретает исследование, направленное на создание способов и устройств обнаружения утечек из трубопроводов.

Целью диссертационной работы является повышение качества

контроля работы магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов путем своевременного обнаружения места и времени образования утечек и несанкционированных подключений при хищении перекачиваемого продукта.

Основные задачи исследований

На основе анализа существующих методов и средств обнаружения утечек из трубопроводов определена область исследований и основные задачи диссертационной работы:

1. Разработка математической модели распространения импульса давления в трубопроводе и проведение численных экспериментов для оценки адекватности предлагаемой модели.
2. Разработка экспериментальной установки, подбор измерительных средств и проведение лабораторных исследований волновых процессов в трубопроводе с целью подтверждения принципиальной возможности использования сканирующего импульса для обнаружения утечки.
3. Разработка способа обнаружения утечек из трубопровода, основанного на его сканировании с помощью импульса давления.
4. Проведение промышленных испытаний с применением разработанного способа обнаружения утечек из трубопроводов.

Методы решения задач

Поставленные задачи решались путем теоретических и экспериментальных исследований. При решении задач использовались современные компьютерные технологии, интеллектуальные датчики давления, серийные пьезокерамические датчики давления, математические методы анализа динамических процессов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель распространения импульса давления в трубопроводе и методы численного решения уравнений модели.
2. Предложен способ обнаружения утечек из трубопроводов с помощью сканирующих импульсов давления.
3. Установлена возможность использования спектрального анализа процесса изменения давления для идентификации утечки.

На защиту выносятся:

результаты теоретических, лабораторных и промышленных исследований нового способа обнаружения утечек из трубопроводов.

Практическая ценность и реализация работы. Полученные в работе результаты позволяют своевременно и точно определять местоположения утечек и несанкционированных подключений при эксплуатации нефте- и нефтепродуктопроводов.

В результате исследований разработан комплекс программ для изучения волновых процессов и обработки результатов. Разработанный способ обнаружения утечек может быть адаптирован в существующих системах контроля утечек (СКУ).

Апробация работы. Основные материалы диссертации докладывались: на Межрегиональной научно-методической конференции «Проблемы нефтегазовой отрасли», г. Уфа, 14 декабря 2000 г.

на 52-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, г. Уфа, 2001.

на Межотраслевой научно-практической конференции «Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов топливно-энергетического комплекса», г. Уфа, 23-25 мая 2001 г.

на III конгрессе нефтегазопромышленников России. Секция Н «Проблемы нефти и газа», г. Уфа, 23-25 мая 2001 г.

на Международной научно-технической конференции «Трубопроводный транспорт – сегодня и завтра», г. Уфа, 28-29 ноября 2002 г.

на 2-й Международной научно-технической конференции. Новоселовские чтения, г. Уфа, 10-12 апреля 2004 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 научных работ и получен один патент RU 2197679 С2.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов, списка использованной литературы, включающего 254 наименования, 3 приложений. В ней содержится 196 страниц машинописного текста, 85 рисунков, 10 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и основные задачи, научная новизна и практическая ценность результатов проведенных исследований.

Первая глава посвящена обзору методов и технических средств обнаружения утечек из трубопроводов, а также их классификации и анализу.

Выполнен анализ существующих систем классификации применяемых и разрабатываемых методов контроля утечек в трубопроводах по различным показателям: режиму работы трубопровода; периодичности применения; измеряемым параметрам; физическому явлению; принципу действия.

Материалы первой главы показывают, что методы детектирования утечек могут быть самыми разными, но среди них можно выделить несколько типов решений, используемых и предлагаемых в настоящее время: метод отрицательных ударных волн; метод сравнения расходов; метод линейного баланса; радиоактивный метод; ультразвуковой метод (зондовый); акустический метод; метод акустической эмиссии; лазерный газоаналитический метод; визуальный метод; метод вихревых токов; магнитные методы контроля; комбинированный электромагнитный метод контроля; метод ударных волн Н. Е. Жуковского и другие методы, а также их комбинации.

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

Системы контроля должны удовлетворять следующим требованиям: высокая чувствительность; точность определения места утечки; безопасность в эксплуатации; обеспечение контроля трубопроводов большой протяженности; высокая степень надежности, достоверности и автоматизации; отсутствие помех, оказывающих влияние на режим перекачки; экономичность; готовность к работе при любых климатических и погодных условиях.

При оценке преимуществ и недостатков отдельных методов учитываются различные обстоятельства. Применение тех или иных методов ограничено параметрами трубопровода, профилем трассы, свойствами перекачиваемой жидкости, зависит от направления и режима перекачки. Некоторые методы позволяют установить только факт наличия утечки, с помощью других удается определить также место повреждения.

Наибольшее распространение получили транспортабельные средства обнаружения утечек следующих фирм: НИИинтроскопии Томского политехнического университета (акустико-эмиссионный течеискатель АФ41), ООО "ТЕХНОАС" подразделением фирмы "ИНТЕКО" (г. Коломна, Московской обл.) (акустико-эмиссионный специализированный течеискатель АЭТ1МС, течеискатель акустический портативный "УспехАТ1", течетрассопоисковый комплект "УспехАТГЗ»)

В настоящее время эксплуатируются или проходят стадию внедрения стационарные системы контроля утечек разработки следующих отечественных фирм: ГП ВНИИФТРИ Госстандарта РФ совместно с ВНИИГАЗ (система автоматического контроля герметичности продуктопроводов), НИИинтроскопии (г. Томск) (система непрерывного контроля герметичности участков нефтепровода), ООО «Энергоавтоматика» (г. Москва) совместно с АОЗТ «ЭлеСи» (г. Томск) (система обнаружения утечек в магистральных нефтепроводах по волне давления), АОЗТ "Электронные технологии и метрологические системы" (система контроля утечек СКУ Ф900) и др..

За рубежом нашли распространение стационарные средства и системы контроля утечек следующих фирм: американской корпорации акустических систем ASI (система "WaveAlert VI"), "SpectraTec" (система контроля "WAVEALERT"), "PerinAlert E.S.P.Inc. " (США) (автоматическая система обнаружения и локализации утечек "LeaComSystem") и др.

Анализ существующих методов и средств обнаружения утечек показал, что они требуют дальнейшего совершенствования и развития.

Основным их недостатком является невозможность достоверно зафиксировать утечку, если момент ее образования совпал с началом нестационарного процесса (отключение - включение насосного агрегата, регулирование давления на выходе насосной станции и т.п.). Несанкционированные подключения характеризуются тем, что процесс отбора продукта делится на три этапа: включение отбора; отбор продукта (истечение жидкости с практически постоянным расходом без быстрых перепадов давления, распространяющихся от места отбора); отключение отбора. При малых скоростях открытия (закрытия) задвижки на несанкционированном подключении существующие системы контроля не гарантируют обнаружение утечки на первом и третьем ее этапе, а второй этап может длиться достаточно долго.

В конце первой главы показана актуальность проблемы оперативного выявления утечек из трубопроводов, определена область исследований и основные задачи диссертационной работы, заключающиеся в разработке нового способа диагностики трубопроводов, проведении теоретических и экспериментальных исследований.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям волновых процессов при диагностировании трубопроводов.

Основы теории неустановившегося течения жидкости в напорных трубопроводах были изложены в работах Н. Е. Жуковского. Полученные им дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости легли в основу дальнейшего развития теории напорного и безнапорного течения вязкой жидкости. С помощью этой теории было получено объяснение физического явления, получившего название гидравлического удара. Н. Е. Жуковским было введено понятие эффективной скорости звука, позволившее свести задачу о движении сжимаемой жидкости в упругом цилиндрическом трубопроводе к задаче о движении сжимаемой жидкости в жестком трубопроводе, но с меньшим модулем упругости жидкости.

Дальнейшее исследование нестационарных процессов в трубопроводах получило в работах И. А. Чарного, С. А. Христиановича,

А. Х. Мирзаджанзаде, М. А. Гусейн-Заде, В. А. Юфина, Х. Н. Низамова, Р. Ф. Ганиева, Л. Б. Кублановского, Л. В. Полянской, А. К. Галлямова, М. В. Лурье, А. М. Шаммазова, Е. В. Вязунова, А. Г. Гумерова, А. С. Шумайлова, А. С. Казака, А. А. Кандаурова, Е. М. Климовского и др.

Теоретические исследования, приведенные в диссертационной работе, посвящены разработке математической модели процесса изменения давления в трубопроводе и ее численному решению.

Гидравлические, электрические и акустические колебательные процессы описываются эквивалентными уравнениями и имеют общие физические модели. Физическая сущность этих процессов связана с преобразованием кинетической и потенциальной энергий, которые определяют физические свойства среды и характер волновых процессов в ней.

Дифференциальные уравнения, входящие в предлагаемую модель и описывающие неустановившееся движение реальной жидкости по трубам, получены на основании следующих допущений:

труба – цилиндрическая с постоянной площадью сечения при исходном давлении, достаточно жесткая; течение жидкости по трубе – одномерное;

принято, что характеристики сопротивлений, установленные для стационарных течений и для нестационарных течений, эквивалентны;

стенки трубы – упругие и площадь поперечного сечения трубы описывается линейной зависимостью от давления в соответствии с законом Гука;

скорость течения жидкости V меньше скорости звука C ;

жидкость малосжимаема и ее плотность ρ линейно зависит от давления p .

В качестве исходной использована система уравнений:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\lambda \rho v^2}{8R}; \quad (2.1)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial t} = c^2 \frac{\partial(\rho v)}{\partial x},$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления, R – гидравлический радиус сечения.

Уравнения (2.1) содержат нелинейный член $\frac{\lambda \rho v^2}{8R}$. Однако, принимая

множитель $\frac{\lambda v}{8R}$ постоянным, равным его среднему значению по длине и по

времени ($\frac{\lambda v}{8R} \approx \left(\frac{\lambda v}{8R}\right)_{\text{ср}} = 2a$), можно получить линеаризованную систему

для функций ρv , p – массовой скорости и давления:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + 2a(\rho v); \\ -\frac{\partial p}{\partial t} &= c^2 \frac{\partial(\rho v)}{\partial x}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

В работе показано, что погрешность вследствие линеаризации составляет не более 10 % от максимального давления.

Для капельной жидкости в уравнениях (2.2) можно принять $\rho = \text{const}$ и заменить эти уравнения следующими:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} &= \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + 2a v \right); \\ -\frac{\partial p}{\partial t} &= \rho c^2 \frac{\partial v}{\partial x}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Аналогия между движением реальной жидкости в трубах и распределением электрического тока по кабелю позволяет использовать математический аппарат, развитый в электротехнике, для описания распространения импульса давления или скорости в трубопроводной системе.

Предполагая, что выполнены условия разложимости давления $p(x, t)$ и средней скорости $v(x, t)$ в ряды Фурье, что справедливо для физически осуществимых процессов, решение уравнений (2.3) ищется в виде:

$$p(x, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} p_k(x, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k(x) \cdot e^{ik\omega t}, \quad (2.4)$$

$$v(x, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} v_k(x, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k(x) e^{ik\omega t},$$

где $p_k(x, t)$, $v_k(x, t)$ – k -е гармоники давления и скорости на момент времени t на расстоянии X от начала координат; $a_k(x)$, $b_k(x)$ – комплексные амплитуды этих гармоник, соответственно равные:

$$a_k(x) = \frac{1}{T} \cdot \int_t^{t+T} p(x, \tau) e^{-ik\omega\tau} d\tau, \quad (2.5)$$

$$b_k(x) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \omega(x, \tau) e^{-ik\omega\tau} d\tau, \quad \omega = \frac{2\pi}{T},$$

где ω – частота периодического процесса с периодом T , τ – текущее время.

В результате преобразований получены соотношения

$$\begin{aligned} p_k(x_2, t) - p_k(x_1, t) \operatorname{ch} \lambda_k (x_2 - x_1) + Z_k v_k(x_1, t) \operatorname{sh} \lambda_k (x_2 - x_1) &= 0 ; \\ v_k(x_2, t) - v_k(x_1, t) \operatorname{ch} \lambda_k (x_2 - x_1) + \frac{p_k(x_1, t)}{Z_k} \operatorname{sh} \lambda_k (x_2 - x_1) &= 0 , \end{aligned} \quad (2.6)$$

где λ_k – комплексная постоянная распространения волнового процесса, Z_k – комплексный импеданс простого трубопровода бесконечной длины.

Трубопроводная система имеет достаточно сложную структуру и состоит из конструктивных участков, т.е. простых трубопроводов и конструктивных узлов – устройств, нарушающих однородность магистралей (например, к ним относятся места изменения поперечного размера труб, разветвления, резкие повороты, места установки насосов, задвижек, кранов, гидроаккумуляторов и т.п.). В работе приведено решение телеграфного уравнения (2.3) в виде соотношений. Использование этих соотношений позволяет решать задачи о периодических движениях жидкости при общем виде начальных и граничных условий, в том числе для сложных систем трубопроводов.

Разработанная математическая модель использована для решения задачи при распространении импульса давления прямоугольной формы в трубопроводной системе конечной длины.

В работе приведены результаты расчетов процесса распространения импульсов давления прямоугольной формы длительностью τ в трубопроводе постоянного диаметра d и длины l «без утечек» (рисунок 1), правый конец которого закрыт. Далее описаны результаты теоретических

исследований распространения импульса давления прямоугольной формы при наличии «утечки» (рисунок 2). По результатам исследований можно определить расстояние до утечки и другие параметры.

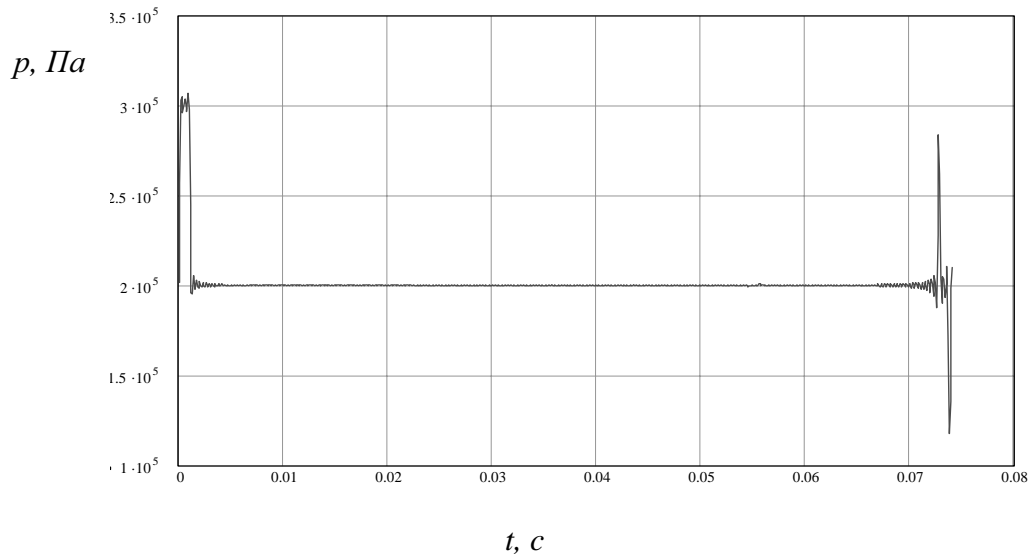


Рисунок 1 - Распределение давления по времени в сечении $x_0 = 0,1$ м для трубопровода постоянного диаметра $d = 12,7$ мм длиной $l = 40$ м, заполненного водой, с закрытым правым концом

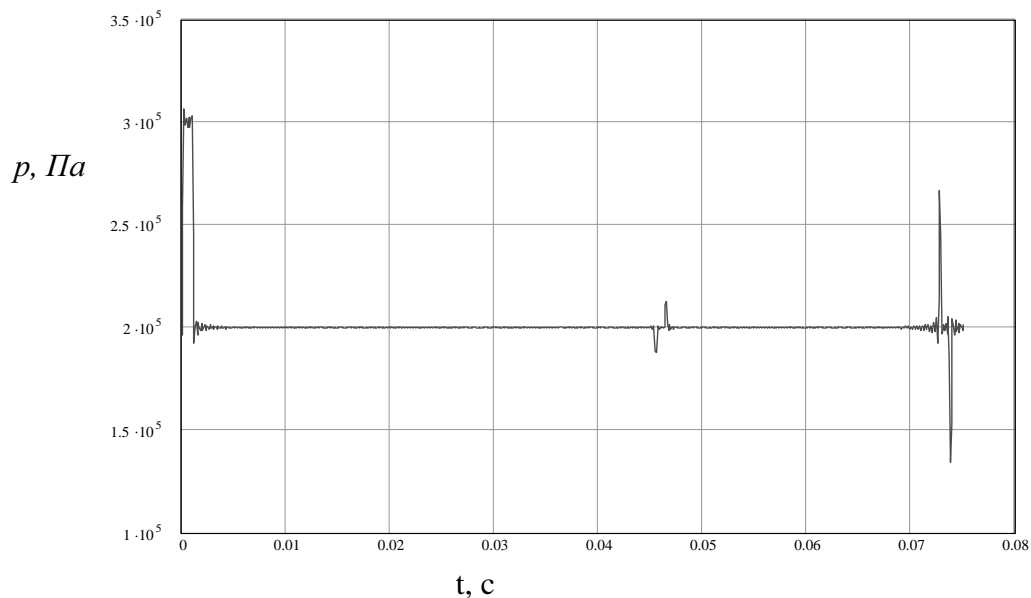


Рисунок 2 - Распределение давления по времени в сечении $x_0 = 0,1$ м для трубопровода постоянного диаметра $d = 12,7$ мм длиной $l = 40$ м, заполненного водой, с закрытым правым концом и «утечкой» на расстоянии $x = 25$ м

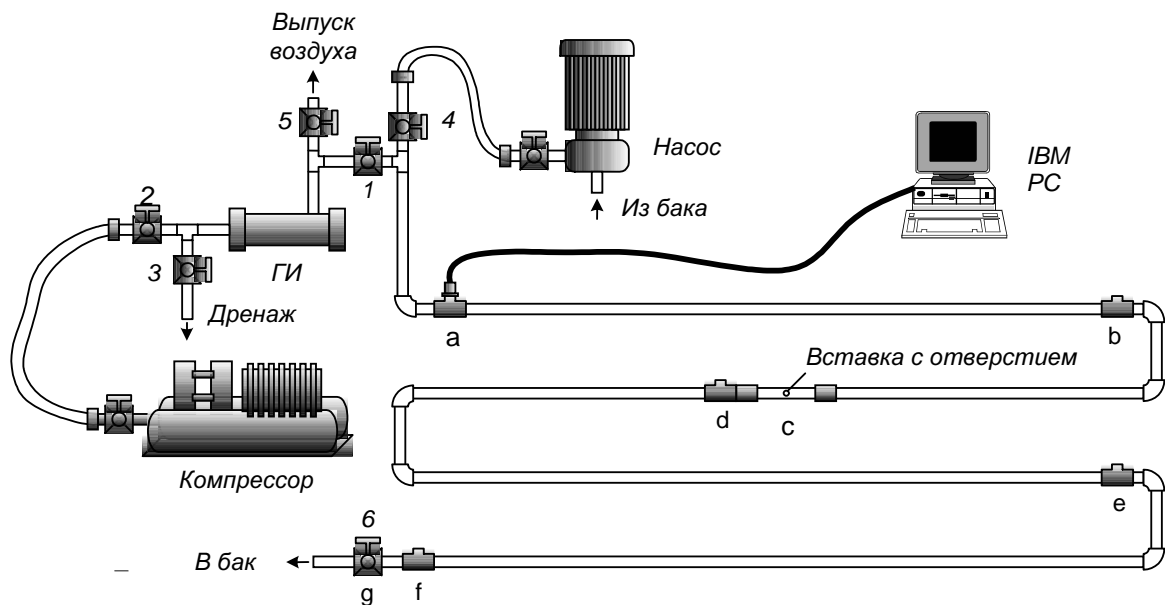
Также рассмотрены задачи распространения импульса давления в трубопроводе при наличии поворотов. Построены графики

распространения импульсов давления в рассмотренных моделях.

Для оценки волновых процессов, которые могут происходить в реальном нефтепродуктопроводе, выполнено математическое моделирование процесса распространения импульса давления по нефтепродуктопроводу в режиме перекачки. Расчеты по модели показали, что сканирующий импульс от 0,2 до 0,5 МПа может быть использован для обнаружения места утечки.

Третья глава посвящена лабораторным исследованиям волновых процессов в трубопроводе и разработке нового способа определения утечки, основанного на использовании сканирующего импульса.

Для проверки результатов счета по теоретической модели и в связи с тем, что процесс распространения импульсов давления – довольно сложный динамический процесс, с учетом основных положений теории подобия была разработана экспериментальная установка (рисунок 3).



1-6 – краны; a, b, d, e, f – места установки датчика; c – вставка с отверстием (утечкой); ГИ – генератор импульсов

Рисунок 3 – Схема испытательного стенда

Для проведения лабораторных экспериментов разработана методика проведения испытаний и требования к точности, быстрдействию и объему

запоминающего устройства. На основании требований подобраны аппаратура и датчики давления. В качестве датчиков давления выбраны интеллектуальные датчики давления МТУ фирмы «Грант» и «НТ-Центр» с приведенной погрешностью 0,025% и частотой дискретизации 2,5 мс. Эксперименты проведены с использованием компьютеров IBM PC, PIII и специального программного обеспечения, что позволяет накопить базу данных проведенных экспериментов.

Исследованы волновые процессы на лабораторном стенде при распространении импульсов давления различной амплитуды и длительности, с утечкой и без нее.

На рисунке 4 представлены результаты опытов с датчиком в начале трубопровода при наличии и при отсутствии утечки. На 13,2 секунде опыта открытием отверстия на вставке с организована утечка. На 16 секунде с помощью ГИ посылается импульс повышенного давления. Через одну секунду открытием дренажного крана 3 в генераторе сбрасывается давление.

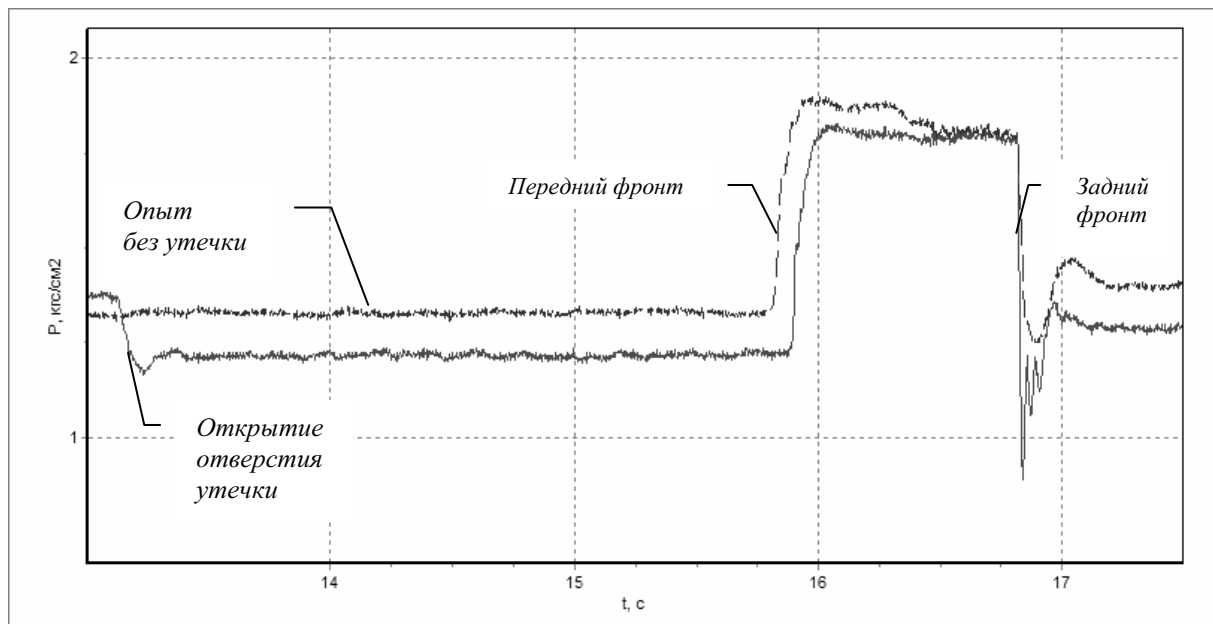


Рисунок 4 – Графики изменения давления без утечки и с утечкой

Анализ передних фронтов повышения давления (рисунок 5) показывает, что при наличии утечки появляется импульс пониженного давления через 0,025 с от момента посылки волны повышенного давления.

Этот интервал времени соответствует времени пробега волны повышенного давления от датчика до утечки и возвращения отраженного отрицательного импульса назад к датчику давления.

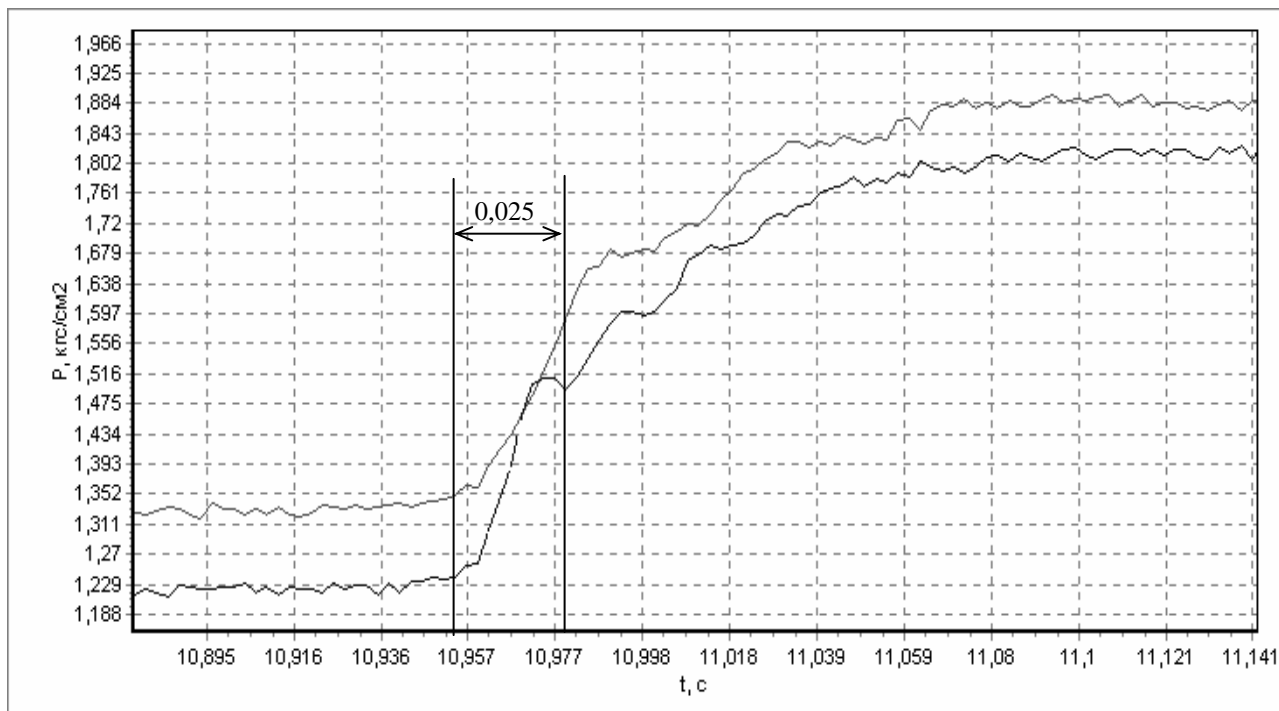


Рисунок 5 - Совмещение переднего фронта волны повышенного давления опытов 15б и 16

Сравнение задних фронтов – понижения давления (рисунок 6) показывает, что при наличии утечки появляется импульс пониженного давления через 0,025 с от момента посылки волны пониженного давления. Далее видны волны пониженного давления, образованные накладкой множества отраженных от различных неоднородностей волн.

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показывает на удовлетворительную сходимость их результатов и подтверждает принципиальную возможность обнаружения утечек из трубопроводов с помощью сканирующих импульсов давления.

Заключительный раздел третьей главы посвящен разработке нового способа определения утечек из трубопроводов. На способ диагностирования получен патент RU 2197679 C2.

С помощью предлагаемого способа возможно решение технической

задачи повышения вероятности и скорости определения места утечки, зондирования утечек на больших расстояниях от источника гидроударных волн.

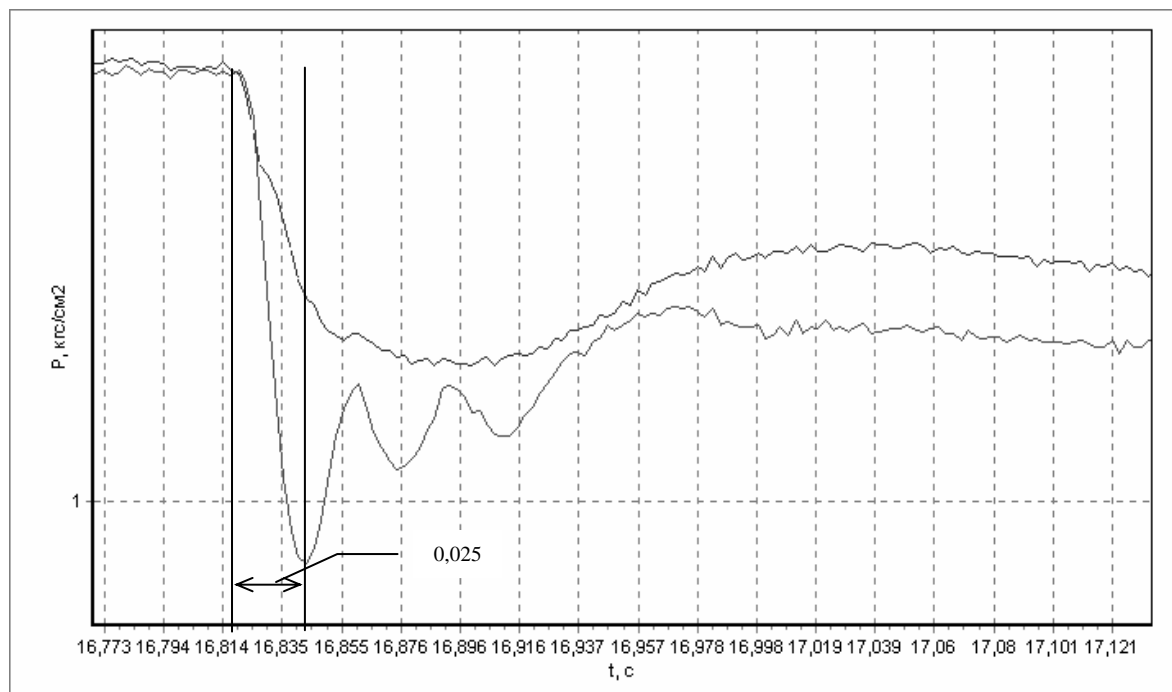


Рисунок 6 - Совмещение заднего фронта волны повышенного давления опытов 15б и 16

Сущность изобретения заключается в том, что место утечки жидкости из трубопровода определяют по интервалу времени между зондирующей и отраженной гидроударными волнами, которые, согласно изобретению посылают с амплитудой $50 - 6,5 \cdot 10^6$ Па и частотой колебаний в диапазоне от 0,004 Гц до 500 кГц, а расстояние до места утечки определяют по формуле

$$X = \tau \cdot v / 2,$$

где X – расстояние до места утечки; τ – время прохождения волны от источника до приемника; v – скорость волны.

При этом характер утечки определяют по изменению амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик отраженного сигнала волнового поля.

Предлагаемое изобретение может быть использовано для

диагностики состояния магистральных трубопроводов, а также трубопроводов в нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах.

Четвертая глава посвящена промышленным испытаниям способа определения утечки основанного на использовании сканирующего импульса.

В первом разделе дается характеристика нефтепродуктопровода «Уфа–Камбарка» и существующей системы контроля утечек, разработанной ООО «Компания Телекомнур». Система контроля утечек предназначена для обнаружения утечек на нефтепродуктопроводах на участках между соседними перекачивающими станциями и должна решать следующие задачи:

- оперативное выявление аварийной ситуации на магистральном нефтепродуктопроводе (МНПП), обусловленной негерметичностью МНПП, с определением места утечки;
- оперативное выявление несанкционированных врезок в МНПП с определением места врезки;
- предоставление оперативной информации об утечке или врезке оператору ПС и предупреждение оператора с выдачей звукового и светового сигнала.

Информацией для обнаружения утечек в основной комплектации являются показания датчиков давления. Для контроля давления используются датчики избыточного давления со встроенным контроллером. Выход измерителя давления преобразуется в цифровую форму с разрешением 0,0001 МПа, частотой опроса до 3 Гц.

Для обнаружения утечек используют метод, который основан на обнаружении “волны расширения”, образуемой при возникновении утечки. Минимально обнаруживаемую утечку можно определить с погрешностью не более ± 300 м; время обнаружения – не более 3 мин с момента возникновения утечки.

Погрешность определения расстояния зависит от величины расхода в месте утечки, от расстояния до ее места и от скорости перекачки. Теоретическая

погрешность определения места утечки составляет 0,1 % от длины контролируемого участка (при длине 130 км составляет 130 м). Алгоритм автоматического определения обеспечивает определение места утечки с точностью 1,5 % от длины контролируемого участка. Это определяется дискретностью опроса давления, влиянием скорости течения жидкости, погрешностью синхронизации датчиков и погрешностью обнаружителя. При этом влияние скорости течения составляет 0,1 %, влияние дискретности 1,3 %, погрешность обнаружителя 0,2 %.

Во втором разделе четвертой главы описана программа промышленного испытания способа диагностирования утечки.

Промышленные испытания были выполнены на нефтепродуктопроводе «Уфа–Камбарка» диаметром 325 мм. Датчик давления и источник сканирующего импульса были установлены на камере пуска разделителя на ЛПДС «Черкассы». Утечку имитировали открытием задвижки на трубопроводе-отводе к нефтебазе «Подымалово». Расстояние от датчика давления до места утечки составляло 47000 м. Испытания выполнялись при перекачке автомобильного бензина АИ-92. Была выполнена серия испытаний при различных значениях амплитуды и длительности сканирующего импульса. Испытания показали работоспособность предлагаемого способа определения утечек.

В работе выполнен спектральный анализ давления, замеренного с помощью высокочувствительного пьезоэлектрического датчика давления МТУ, установленного рядом с датчиком существующей СКУ на ЛПДС «Черкассы». В качестве примера (рисунки 7 и 8) показан характер изменения спектра исходного сканирующего импульса и отраженного от утечки импульса. На графиках наиболее отчетливо выделяется задний фронт сканирующего импульса (58-я секунда) и отраженный от утечки и возвратившийся на начало трубопровода задний фронт (144-я секунда).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что для выявления утечки с помощью сканирующего импульса весьма эффективным оказывается применение спектрального анализа и изучение характера изменения спектра давления во времени.

В заключение четвертой главы даются практические рекомендации по реализации полученных результатов исследований.

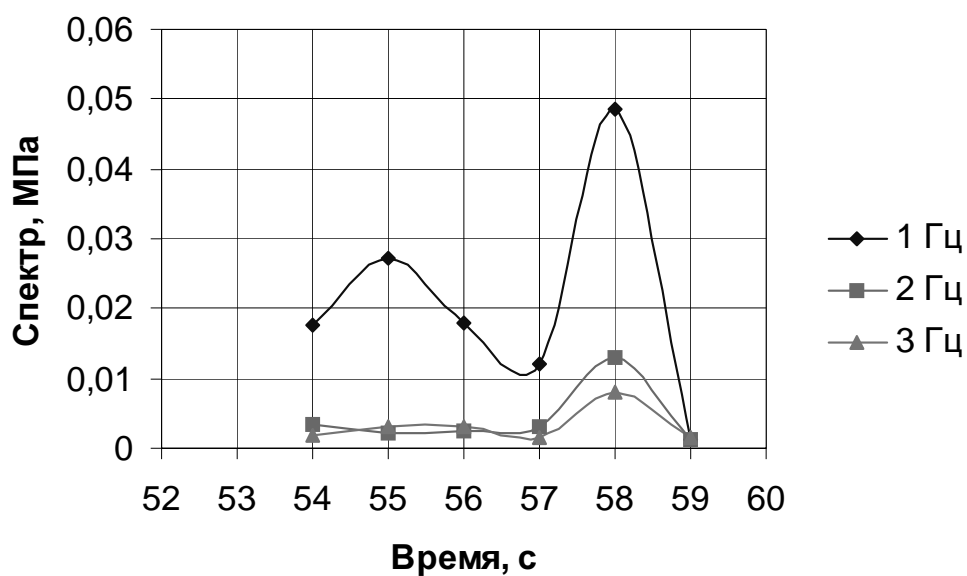


Рисунок 7 - Изменение во времени величин спектров давления исходного сканирующего импульса для частот 1, 2 и 3 Гц.

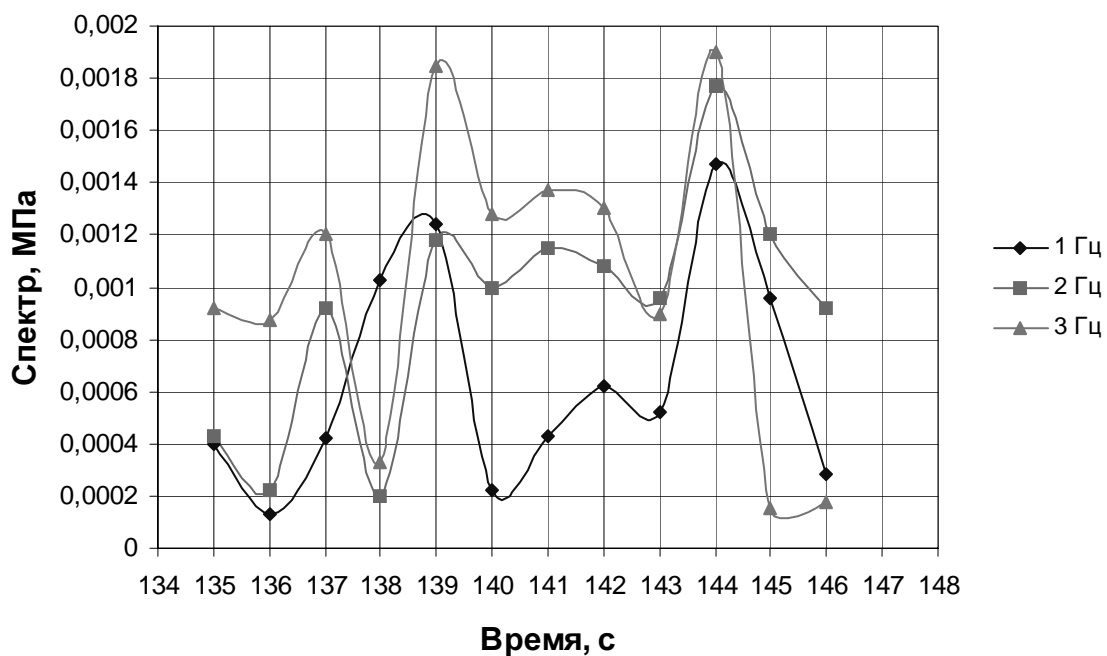


Рисунок 8 - Спектры давления для интервала времени, соответствующего поступлению отраженного от утечки (открытого отвода на нефтебазу «Подымалово»)

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Предложенная в работе математическая модель волнового процесса, послужившая основой для разработки нового способа определения утечек и несанкционированных подключений, дает четкое представление о характере распространения импульсов давления в трубопроводах различной сложности с наличием утечек, поворотов, местных сопротивлений.

2. Разработанная экспериментальная установка и выполненные на ней исследования подтвердили обоснованность предложенной математической модели, а сопоставление результатов расчетов и экспериментов показали удовлетворительную сходимость.

3. Разработан новый способ обнаружения места утечки с помощью сканирующих импульсов давления (защищен патентом RU 2197679 C2), позволяющий идентифицировать утечку на ее второй стадии – истечение жидкости с практически постоянным расходом без быстрых перепадов давления, распространяющихся от места отбора.

4. Проведенные промышленные испытания разработанного способа обнаружения утечек из трубопроводов с помощью сканирующего импульса давления на участке трубопровода «Уфа–Камбарка» показали возможность его адаптации к существующей системе контроля утечек, основанной на контроле волновых процессов в трубопроводе. Установлено, что для выявления утечки с помощью сканирующего импульса весьма эффективным оказывается применение спектрального анализа и изучение характера изменения спектра давления во времени.

Автор благодарит профессоров В. Ф. Галиакбарова и Г. Е. Коробкова за ценные советы и замечания, высказанные ими в процессе выполнения работы.

Основное содержание диссертации опубликовано в 9 научных трудах и 1 патенте РФ:

1. Гольянов А.А., Гольянов А.И. Системы контроля утечек из магистральных трубопроводов // Проблемы нефтегазовой отрасли: Материалы научно-методической конференции./ Редкол.: Ю.М. Абызгильдин и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. – С. 174-176.

2. Гольянов А.А., Гольянов А.И. Анализ факторов, влияющих на точность определения места и величины утечки из магистрального трубопровода // Материалы Межотраслевой научно-практической конференции «Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов топливно-энергетического комплекса». Уфа, 23-25 мая 2001 г.: Научные труды. Том 2. – Уфа: ГИИТЛ «Реактив», 2001. – С. 176-178.

3. Галиакбарова Э.В., Гольянов А.А., Галиакбаров В.Ф. Импульсные исследования трубопроводных систем // III конгресс нефтегазопромышленников России. Секция Н «Проблемы нефти и газа». Уфа, 23-25 мая 2001 г.: Научные труды. – Уфа: ГИИТЛ «Реактив», 2001. – С.255-256.

4. Галиакбарова Э.Ф., Гольянов А.А. Математическое моделирование распространения импульса давления в трубопроводной системе // НИС, ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ. Сер. «Транспорт и хранение нефтепродуктов». Вып. 10-11, 2002. – С. 35-41.

5. Способ определения места утечки жидкости из трубопровода. Пат. RU 2197679 С2, МПК⁷ F 17 D 5/02 / Галиакбаров В.Ф., Гольянов А.А., Коробков Г.Е.; № 2001108766/06; Заявл. 03.04.2001; Опубл. 27.01.2003. Бюл. № 3.

6. Гольянов А.А., Шаммазов А.М. Обеспечение безопасности и экологической защиты магистральных нефтепроводов // НИС, ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ. Сер. «Транспорт и хранение нефтепродуктов». Вып. 10-11, 2002. – С. 15-18.

7. Гольянов А.А. Анализ методов обнаружения утечек на нефтепроводах // НИС, ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ. Сер. «Транспорт и хранение нефтепродуктов». Вып. 10-11, 2002. –С. 5-14.

8. Галиакбаров В.Ф., Коробков Г.Е., Гольянов А.А., Гольянов А.И. Оперативное определение состояния трубопровода // Материалы международной научно-технической конференции «Трубопроводный транспорт – сегодня и завтра» (Уфа, 27-29 нояб., 2002): Сб. научн. тр. / – Уфа: Монография, 2002. – С 188-189.

9. Галиакбарова Э.В., Гольянов А.А., Гольянов А.И., Галиакбаров В.Ф. О распространении импульса давления по нефтепродуктопроводу в режиме перекачки // Новоселовские чтения: Материалы 2-й Международной научно-технической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – С.12.

10. Галиакбарова Э.В., Гольянов А.А., Гольянов А.И., Галиакбаров В.Ф. Математическое моделирование процесса распространения импульса давления по нефтепродуктопроводу в режиме перекачки // Материалы Новоселовских чтений: Сб. науч. тр. Вып. 2. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – С. 89-96.