

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА (МТТ)

***Аннотация:** В статье рассматривается проблема повышения достоверности идентификации дефектов МТТ ТИПА «малые утечки» на основе на основе новых подходов, чувствительных к малым изменениям параметров перекачки. Автор считает предлагаемый подход классифицировать одним Аннотация из методов внутритрубной диагностики*

***Ключевые слова:** магистральный трубопроводный транспорт, методы неразрушающего контроля, внутритрубная диагностика, дефект типа «утечка», чувствительность метода.*

***Annotation:** The article deals with the problem of increasing the reliability of the identification of MTT defects of the "small leaks" TYPE based on new approaches sensitive to small changes in pumping parameters. The author considers the proposed approach to be classified as one of the methods of in-line diagnostics*

***Key words:** main pipeline transport, methods of non-destructive testing, in-line diagnostics, defect type "leak", sensitivity of the method.*

1. Актуальность проблематики обнаружения дефектов МТТ типа «утечки»

Трубопроводные системы являются одним из самых экономичных и безопасных способов транспорта углеводородов [1, 2]. В связи с ростом разветвленности и протяженности сети магистральных нефтепроводов (МН), а также с увеличением срока их эксплуатации повышается вероятность возникновения аварийных ситуаций и инцидентов на МН, что влечет за собой потери нефтепродуктов и загрязнение окружающей среды. Кроме того, есть и другие причины, приводящие к появлению утечек, такие как случайное повреждение трубопровода, террористические акты ит.д. Появление утечки сопровождается целым рядом изменений физико-технического состояния трубопровода и пространства вблизи места их появления. Возникает характерный акустический шум, изменяются давление и скорость потока перекачиваемого продукта, потребляемая мощность перекачивающих агрегатов. Ощущается загазованность над поверхностью линий. Изменяются температура, магнитное поле и электропроводность грунта в зоне выхода продукта из трубопровода и др. В этой связи, используя различные принципы регистрации изменений тех или иных параметров, сопутствующих утечкам, разрабатывают большое число систем эксплуатационного контроля технического состояния трубопроводов.

Все существующие способы и системы обнаружения утечек (СОУ) обладают своими преимуществами и недостатками, многие из них требуют установки дополнительного оборудования, поэтому возникает потребность в комбинированной системе обнаружения утечек [3].

В данной работе были проанализированы существующие методы обнаружения утечек, усовершенствован метод гидравлической локации и представлен новый дистанционный метод с использованием беспилотного летательного аппарата. Предлагается проект по улучшению системы

обнаружения утечек благодаря разрабатываемому методу зональной локации, методу обнаружения утечки с помощью станции катодной защиты. Учтены расхождения мест утечки по методу гидравлической локации из-за погрешностей датчиков давления и расходомеров. Представлены идеи по внедрению беспилотников с установленными тепловизорами. Приведены расчеты экономической эффективности СОУ и затрат на введения в эксплуатацию беспилотных летательных аппаратов для мониторинга трубопровода.

2. Классификация утечек

В зависимости от вида повреждения труб и объема потерь перекачиваемого продукта за определенное время утечки нефти и нефтепродуктов утечки подразделяются на:

1) крупные (величиной более 10 м³/ч), влияющие на гидродинамический процесс перекачки;

2) малые (величиной от 2 до 600 л/ч), которые на гидродинамический процесс перекачки не влияют.

Средних утечек (величиной от 600 л/ч до 10 м³/ч) не наблюдается.

Утечки величиной менее 50 л/ч функционируют непостоянно, т.к. повреждения постепенно забиваются парафином, песком и другими механическими частицами.

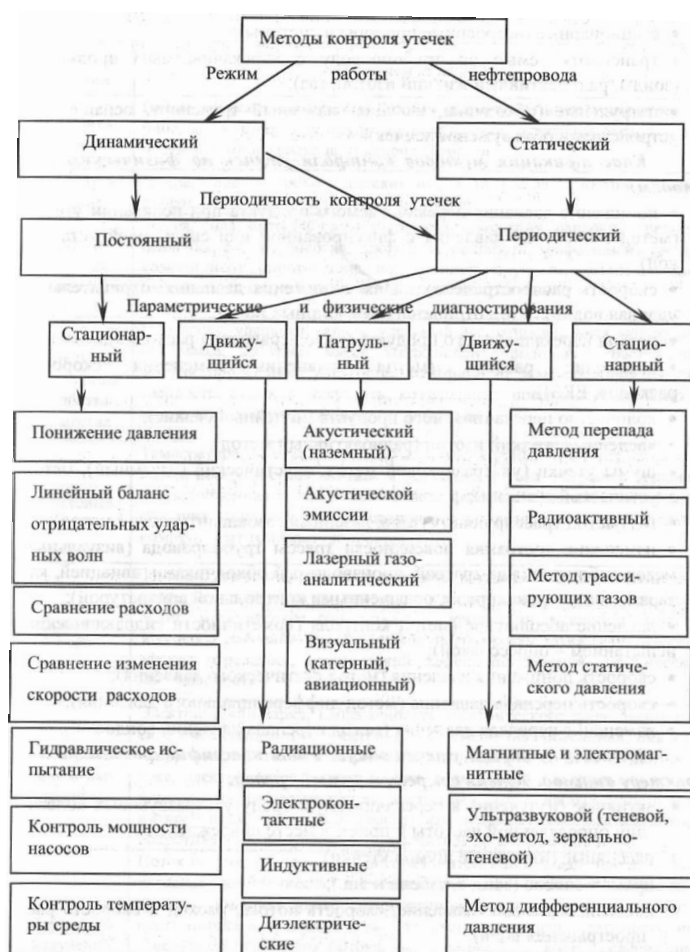
Возникновение крупных утечек (аварий) фиксируется относительно просто. Процессы, происходящие при появлении трещины или разрыва трубы, протекают примерно по одному «сценарию»: в первые секунды происходит резкое увеличение утечки, а затем в связи с падением давления объем утечки уменьшается. Признаком возникновения аварии является падение давления на выходе насосной станции при одновременном увеличении подачи и потребляемой мощности. Также последствия крупных утечек (аварий)

фиксируются визуально при патрулировании нефтепродуктопроводов воздушным или наземным способом. Кроме того, о возникновении крупной утечки можно судить по появлению дисбаланса в количестве продукта, закачиваемого в трубопровод и принимаемого из него.

Сложнее зафиксировать мелкие утечки, т.к. их появление не приводит к видимым изменениям в режимах перекачки, дисбаланс объемов перекачки находится в пределах погрешности резервуарного учета.

В связи с этим возникла проблема обнаружения мелких утечек в силу их многочисленности и опасности.

3. Классификация методов контроля утечек.



Ниже (табл.1) представлены категории утечек и соответствующие информационные параметры, базирующиеся на измеряемых физических величинах.

Таблица 1

Категории величин	Измеряемые величины
Кинематические	Время, скорость, ускорение, угловая скорость, угловое ускорение, период, частота периодического процесса, фаза, объемный расход, плотность объемного расхода, градиент скорости
Геометрические	Длина, площадь, объем, плоский и телесный угол, кривизна линии и поверхности, моменты плоских фигур и др.
Статические и динамические	Масса, сила, импульс силы, количество движения, давление, градиент давления, работа, энергия, плотность, мощность, коэффициент трения, коэффициент сопротивления, коэффициент упругости, момент инерции, массовый расход, массовая скорость потока, затухание.
Механические и молекулярные свойства вещества	Плотность, удельный объем, удельный вес, относительная молекулярная масса, молярная масса, коэффициент продольного растяжения, модуль продольной упругости, коэффициент всестороннего сжатия, твердость, вязкость, текучесть, коэффициент поверхностного натяжения, концентрация, коэффициент диффузии.
Тепловые	Температура, количество теплоты, температурный градиент, тепловой поток, поверхностная плотность теплового потока, энтропия, теплоемкость (объемная и удельная), теплота фазового превращения, теплота сгорания топлива, теплопроводность, коэффициент теплопередачи, коэффициент температуропроводности.
Акустические	Звуковое давление, объемная скорость, звуковая энергия, плотность и поток звуковой энергии, интенсивность звука, акустическое сопротивление, механическое сопротивление, уровни интенсивности звука и звукового давления, высота, тембр и громкость звука, акустический эффект отражения, акустический эффект поглощения, акустическая проницаемость.

Электрические и магнитные	Электрический заряд, напряженность электрического поля, электрическое смещение, поток электрического смещения, потенциал, емкость, поляризованность, диэлектрическая проницаемость, сила и плотность тока, электрическое сопротивление, электрическая и удельная проводимость, магнитная индукция, магнитный поток, напряженность магнитного поля, магнитный момент, магнитодвижущая сила, магнитное сопротивление, индуктивность, магнитная проницаемость и др.
Параметры излучений	Поток излучения, плотность потока и интенсивность излучения, энергетическая освещенность, энергетическая сила света, энергетическая яркость, объемная плотность энергии излучения, спектральная плотность потока излучения по частоте, световая энергия, светимость, интенсивность светового потока, освещенность, яркость, освечивание, видимость, оптическая сила, главное фокусное расстояние, показатель преломления, коэффициенты: отражения, рассеяния, поглощения, пропускания и др.

Таким образом, идентификация утечек реализуется как на аппаратном, так и на алгоритмическом (математическом) подходах, требующих наличия диагностического оборудования, а также математических моделей процессов идентификации.

4. Метод гидравлической локации

Известны методы гидравлической локации места утечки нефти или методы, заключающиеся в анализе профиля давления (оценивается параметр). Измеряется манометрическое давление на концах двух специально выбранных базисных сегментах, находящихся вблизи перекачивающих станций (Рис.1). Если в некоторой точке возникает утечка, то линия гидравлического клона становится ломаной.

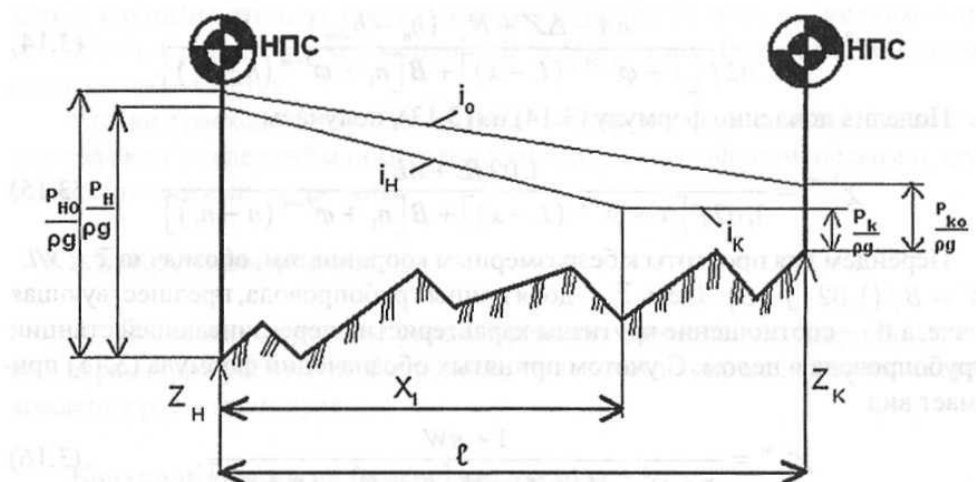


Рисунок 1. Схема для определения места утечки

В соответствии со схемой для определения места утечки составлены следующие уравнения (4.1, 4.2)

$$Z_H + \frac{P_H}{\rho g} - i_H \cdot x_1 = Z_K + \frac{P_K}{\rho g} + i_K \cdot (l - x_1) \quad (4.1)$$

Тогда x_1 - расстояние до места утечки может быть вычислено по формуле

$$x_1 = \frac{1}{i_H - i_K} \cdot \left(\frac{P_H - P_K}{\rho g} - \Delta Z - i_K \cdot l \right) \quad (4.2)$$

Z_H, P_H, i_H – высотная отметка, давление и гидравлический уклон

Таким образом, место утечки будет известно, если мы найдем величины гидравлических уклонов в начале и в конце с помощью производительности и напора.

Однако существуют расхождения места утечки по методу гидравлической локации из-за погрешностей датчиков давления. Была поставлена задача локализации места утечки с учетом погрешностей приборов. Заметим, что погрешность измерения носит вероятностный характер [4]. В результате математических преобразований, была выведена формула, отражающая интервал трубопровода с фактическим местом утечки. Но этот метод не учитывает погрешность, связанную с расходомерами.

Учет погрешности не только датчиков давления, но и ультразвуковых расходомеров для предложенного метода **зональной локации,**

установленных в начале и в конце участка трубопровода (Рис.2), повысят точность определения места утечки.

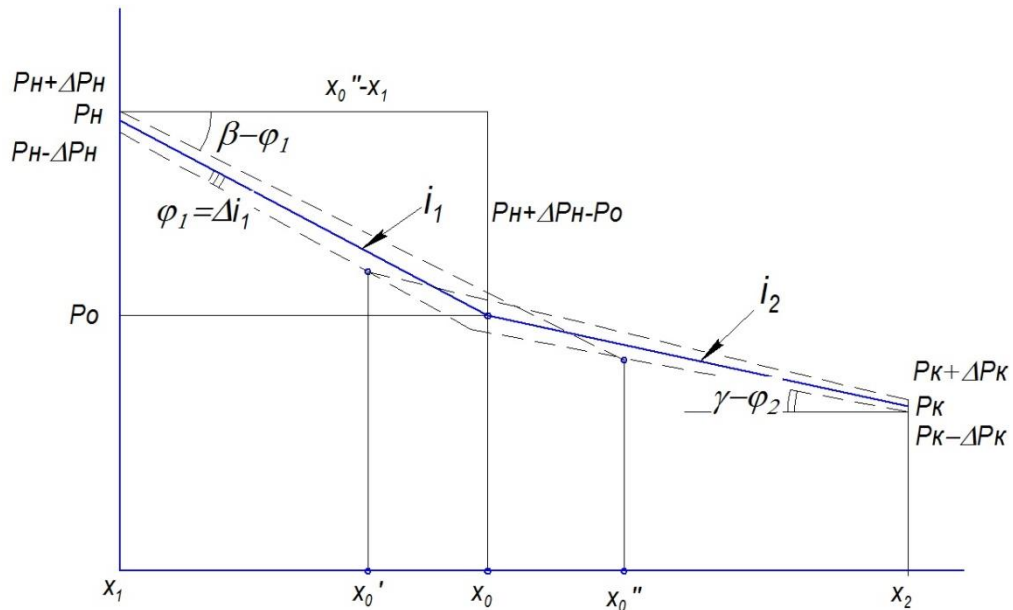


Рисунок 2 . Метод зональной локации.

Для определения формул вычисления граничных координат получены следующие формулы (4.3), (4.4)

$$x_0' = \frac{P_K + \Delta P_K - P_H + \Delta P_H - x_1 \left(\frac{i_1(Q_1 + \Delta Q_1)}{Q_1 - i_1^2 \cdot \Delta Q_1} \right) + x_2 \left(\frac{i_2(Q_2 - \Delta Q_2)}{Q_2 + i_2^2 \cdot \Delta Q_2} \right)}{\left(\frac{i_2(Q_2 - \Delta Q_2)}{Q_2 + i_2^2 \cdot \Delta Q_2} \right) - \left(\frac{i_1(Q_1 + \Delta Q_1)}{Q_1 - i_1^2 \cdot \Delta Q_1} \right)} \quad (4.3)$$

$$x_0'' = \frac{P_K - \Delta P_K - P_H - \Delta P_H - x_1 \left(\frac{i_1(Q_1 - \Delta Q_1)}{Q_1 + i_1^2 \cdot \Delta Q_1} \right) + x_2 \left(\frac{i_2(Q_2 + \Delta Q_2)}{Q_2 - i_2^2 \cdot \Delta Q_2} \right)}{\left(\frac{i_2(Q_2 + \Delta Q_2)}{Q_2 - i_2^2 \cdot \Delta Q_2} \right) - \left(\frac{i_1(Q_1 - \Delta Q_1)}{Q_1 + i_1^2 \cdot \Delta Q_1} \right)} \quad (4.4)$$

Полученная математическая модель позволяет дать вероятностную оценку интервала нахождения утечки для каждого конкретного случая. Следовательно, полученные результаты более адекватно описывают процесс локализации места утечки. Достоинством предложенного метода является непрерывность контроля за появлением утечек.

Заключение.

Анализ существующих методов определения места утечки подтверждает актуальность рассмотренных вопросов в контексте постановки задачи, решение которой позволило корректно сформулировать и решить актуальную проблему.

Список литературы:

1. Абрамян С.Г., Савеня С.Н., А.А. Савеня А.А. Контроль качества систем трубопроводного транспорта на всех этапах строительства и эксплуатации, учебное пособие, Волгоград, 2011г.
2. Статья «Современные методы и средства технического диагностирования», авторы: Узакова Л.П., Каландаров Н.О., журнал «Молодой ученый» — 2014г. — статья №9. — С. 216-218.
3. Абузова Ф.Ф., Бронштейн И.С., Новоселов В.Ф. и др. «Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении». – М.: Недра, 1998 г.
4. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов / В.Е. Гмурман. — 12-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 479 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00211-9.