

4. ГОСТ 55019-2012 Арматура трубопроводная. Сильфоны многослойные металлические. Общие технические условия.
5. РД 24.949.04-90 Сварка электронно-лучевая изделий тяжелого машиностроения. Технические требования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЛОКАЦИИ ТЕЧЕЙ ПРОТОТИПОМ КОРРЕЛЯЦИОННО-АКУСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕПОИСКОВОГО КОМПЛЕКСА

В. Н. Марукян, В. А. Фаерман

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В последнее время в сфере эксплуатации и обслуживания трубопроводных систем находят применение всё более разнообразные средства контроля и диагностики линейной части трубопроводов, позволяющих определить наличие и местоположение утечек и врезок [1].

Значимыми критериями, по которым может осуществляться оценка эффективности тех или иных средств обнаружения утечек и врезок, являются точность локации и протяженность контролируемого участка трубопровода [1]. При этом зачастую оценка этих параметров, особенно средствами неразрушающего контроля, не регламентируется на государственном уровне.

Данная ситуация наблюдается, в частности, с корреляционно-акустическими течепоисковыми комплексами. Принцип действия данных систем заключается в одновременном получении виброакустических сигналов с двух концов линейного участка трубопровода и их последующей обработки с целью обнаружения в смеси акустического сигнала, производимого истекающей жидкостью, и определения местоположения его источника [2]. В соответствии с действующим законодательством, подобные системы не являются средствами измерения и не имеют нормированных метрологических характеристик.

Корреляционно-акустический течепоисковый комплекс, в общем случае, имеет следующий состав: два датчика вибрации, блок обработки сигналов и устройства необходимые для обеспечения связи между блоком обработки сигналов и датчиками. В качестве блока обработки сигналов нередко используется портативный компьютер в специальном защищенном исполнении, с предустановленным специализированным программным обеспечением. Передача сигналов от датчиков к блоку обработки сигналов может осуществляться как в аналоговом виде, так и в цифровом [3], непосредственно по соединительным линиям или радиоканалу. Состав комплекса и схема обнаружения утечки с его помощью представлена на рисунке 1.

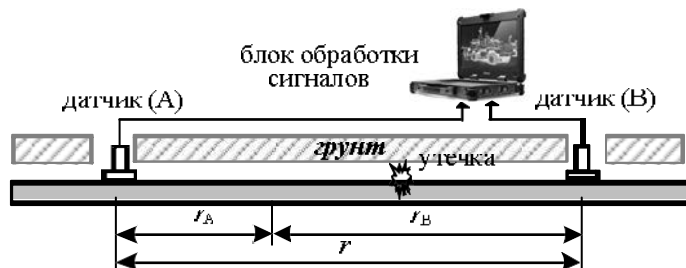


Рис. Схема обнаружения утечки корреляционно-акустическим методом

В связи с отсутствием общепринятой методики оценки характеристик течепоисковых комплексов, оценки точности, заявленные производителями тех или иных решений, представленных на рынке, зачастую не являются сопоставимыми. Тем не менее, в интересах потребителя, может производиться добровольная сертификация течеискателей в соответствии с техническими условиями, регламентирующими, в том числе требования к характеристикам и порядок их оценки [4]. Однако, даже в последнем случае, методика оценки не является в полной мере прозрачной, что делает актуальной задачу планирования эксперимента и разработки процедуры обработки данных, которые позволят адекватно и объективно оценить характеристики разрабатываемого в рамках инициативного проекта прототипа течепоискового комплекса.

Расстояние от любого из датчиков до утечки определяется [4]

$$r_{A,B} = \frac{r \pm \tau \cdot v}{2} \quad (1)$$

В соответствии с (1), точность определяется следующими факторами: точностью определения расстояния между датчиками (r), точностью определения скорости (v) распространения сигнала, а также точностью определения времени запаздывания (τ). Полагая расстояние между датчиками априорно известным, а погрешности при определении скорости распространения сигнала (Δv) и времени запаздывания ($\Delta \tau$) малыми по сравнению с их истинными значениями и дифференцируя (1) получим

$$\left| \Delta r_{A,B} \right| (\tau, v) = \frac{1}{2} \left| \Delta \tau \cdot v + \tau \cdot \Delta v \right|, \quad (2)$$

где $\Delta r_{A,B}$ - погрешность при определении местоположения течи, $\Delta \tau$ - абсолютное значение погрешности при определении времени запаздывания, Δv - погрешность при определении скорости распространения. В соответствии с (2) может производиться интервальная оценка точности определения τ .

В связи с тем, что предполагаемый состав разрабатываемого и исследуемого прототипа течепроискового комплекса исключает экспериментальное измерение скорости при контроле трубопроводов, планируется лишь оценка точности определения τ , что представляет наибольший методический интерес [3].

В качестве модели контролируемого трубопровода предполагается использование линейного участка трубы с отверстиями, служащими для имитации утечек. Схема расположения отверстий представлена на рисунке 2.

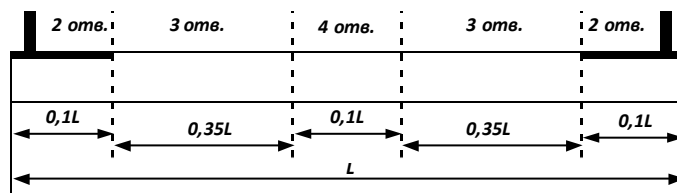


Рис. 2. Расположение отверстий на трубе

Давление для перемещения среды по трубе планируется создавать с помощью компрессора, предусматривающего работу в различных режимах. Алгоритм получения экспериментальных данных представлен далее.

1. Закрытие всех отверстий. Запуск компрессора с новой уставкой.
2. Регистрация сигналов без «утечки», фиксируемых датчиками (для последующей оценки отношения сигнал/шум на входе коррелятора).
3. Открытие одного из отверстий, расположенных на трубе.
4. Регистрация и анализ сигналов. Определение времени запаздывания по корреляционному пику и, по известному расстоянию до отверстия, в соответствии с (1), скорости распространения сигнала для данного режима работы компрессора.
5. Закрытие открытых отверстий. Открытие очередного отверстия, регистрация и анализ сигналов. Определение времени запаздывания по пику корреляционной функции. Расчет контрольного значения запаздывания путём деления известного расстояния, на скорость, определенную ранее. Пункт 6 повторяется, пока все отверстия не будут задействованы.

6. Переход к новому режиму работы (к пункту 1) или к обработке экспериментов. После накопления достаточного объёма данных производится их анализ. В соответствии со статистическими принципами обработки экспериментальных данных [5] был разработан следующий алгоритм.

1. По результатам эксперимента составляется массив размерностью $Q \times 2$, где Q – количество определенных величин времени запаздывания. Каждая строка массива представляет собой $(-\tau_i \ \varepsilon_i)$, где $-\tau_i$ – результат измерения, ε_i – отклонение от расчетного значения.
2. Строки массива сортируются по возрастанию значений τ_i и с применением математических пакетов строится зависимость $\varepsilon_i(\tau_i)$.
3. С учётом характера зависимости $\varepsilon_i(-\tau_i)$, весь диапазон значений $-\tau_i$ разбивается на несколько интервалов, в пределах которых значения ε_i являются относительно близкими.
4. Для каждого из выделенных интервалов, с использованием критерия согласия Пирсона, проверяется гипотеза о нормальности распределения ε_i .
5. В случае если гипотеза о нормальности распределения подтверждается, производится оценка доверительного интервала определения τ_i . В противном случае – может быть увеличено количество интервалов (шаг 3).

Стоит отметить, что вид зависимостей, выявленных на этапе обработки данных, представляет интерес как с точки зрения дальнейшего развития методов обработки сигналов, так и с точки зрения исследования физических аспектов генерации и распространения акустических сигналов утечек.

Предложенные схема эксперимента и алгоритм обработки полученных результатов позволяет произвести в значительной степени объективную оценку точности локации утечек прототипом течепроискового комплекса. Несмотря на то, что экспериментальная оценка характеристик теческателей сопряжена с некоторыми организационными трудностями и определенными материальными затратами, предложенный способ представляется достаточно простым и может быть реализован силами небольшого коллектива, выполняющего работы в рамках инициативного проекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-37-00049 мол.а.

Литература

1. Мамонова Т.Е. Методы диагностики линейной части нефтепроводов для обнаружения утечек // Проблемы информатики. - 2012. - № 5. - С. 103-112.
2. Жуков А.В., Кузьмин А.Н. Распространение акустических волн в нефтепроводах // В мире Неразрушающего контроля. – 2011. - № 3 (53).
3. Смирнов В.А. Корреляционный метод поиска утечек жидкостей из трубопроводов под давлением [Электронный ресурс] // Вибродиагностика для начинающих и специалистов. – 2005. URL: <http://www.vibration.ru/tech/tech.shtml>, свободный (дата обращения 13.02.2016).
4. ИНКО.468160.006 РЭ. Течеискатель корреляционный Т-2001М: руководство по эксплуатации. – Нижний Новгород. – 2012. – 54 с.

5. Спирин НА., Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: уч. Пособие. – Екатеринбург. – 2004. – 257 с.
6. Фаерман В.А., Степанцов П.С., Аврамчук В.С. Структурные и функциональные особенности современных вибродатчиков // сб. труд. XI Международной научно-практ. конф. студентов, аспирантов и мол. уч. «Молодёжь и современные информационные технологии». – Томск, 2013. – С. 221-223.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕЧЕНИЯ ПЕН В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Нго Тхань Тхао

Научный руководитель, профессор С. Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Пены относятся к дисперсным системам и состоят из множества газовых пузырей, распределенных в жидкой матрице. Чистые жидкости вспенить не удастся – пленки чистой жидкости мгновенно разрушаются. Чтобы увеличить время жизни пузырей в пене, в жидкость добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ) типа лаурилсульфата натрия и т.п., которые уменьшают поверхностное натяжение раствора и организуют, в силу физико-химических взаимодействий молекул, дополнительное отталкивание между поверхностями пленок пены.

Обычно выделяют два типа пен. Первый класс подобен эмульсии газа в жидкости и состоит из системы почти сферических пузырей, рассеянных в объеме жидкой фазы. Ко второму типу пен относятся так называемые полиэдрические пены, то есть системы пузырей, разделенных тонкими жидкими пленками, которые, в свою очередь, образуют достаточно правильные решетки. Тонкие пленки, разделяющие пузыри, обычно называют ламеллами. Пузыри в полиэдрической пене имеют форму многогранников и могут отличаться по размеру и числу соседних пузырей – многогранников (полиэдров), сформированных ламеллами. Ламеллы, отделяющие неравные по размеру пузыри, могут искривляться из-за различия давления в пузырях [2].

Образование пены в основном обеспечивается в механизме гидродинамической неустойчивости течений в пористых средах. При условии, что между входом и выходом в модели пористой среды существует перепад давления в диапазоне от 0,05 МПа до 0,1 МПа, то в процессе вытеснения газом пенообразующего раствора возникают сильные флуктуации скорости течения в порах в связи с геометрической неоднородностью поровых и трещиноватых каналов (диаметры пор колеблются в диапазоне от 10 мкм до 250 мкм). Пена, получающаяся продуванием воздухом через каналы пористой среды, насыщенной раствором ПАВ, имеет размер, близкий к размерам пор, также характеризуется сравнительно невысоким гидродинамическим сопротивлением [2].

Рассмотрим идеальную капиллярную систему подобно двум несмешивающимся жидкостям типа газа и воды. В силу того, что зерна матрицы имеют различную кривизну, жидкость находится в поле действия лапласовского капиллярного давления, действующего на изогнутые поверхности раздела газ-жидкость, а также под действием расклинивающего давления, действующего в смачивающих пленках. В силу локальных неоднородностей порового пространства в жидкости устанавливаются локальные градиенты давления, ведущие к перетокам жидкости. Эти локальные течения жидкости приводят к выравниванию давления и установлению у менисков постоянной кривизны. Из-за сложной структуры реальных пористых сред смачивающая фаза может существовать в них в различном термодинамическом состоянии: как обычная объемная жидкость, сосредоточенная в менисках, так и в виде тонких пленок, покрывающих поровую поверхность. Смачивающие пленки на стенках пор с изменяющейся кривизной вынуждены иметь различную кривизну и толщину, чтобы сбалансировать расклинивающее и капиллярное давления.

Допустим, что пена закачивается в образец длиной H и высотой d при постоянной водонасыщенности. Для описания течения пены в этом случае можно пользоваться системой уравнений [3]:

$$\frac{\partial v}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial F}{\partial x} = -\frac{F}{\tau_r}, \quad v = -k \cdot \frac{\partial P}{\partial x} - F \quad (1, 2, 3)$$

Кинетическое уравнение (2) можно трактовать и с позиций механизма рождения-гибели ламелл, блокирующих газовые каналы. Действительно, уравнение (3) выражает баланс сил в движущемся пенонесущем газе. Вязкие силы уравновешены градиентом давления и распределенными по образцу блокирующими силами со стороны ламелл пены. В первом приближении блокирующая сила пропорциональна концентрации ламелл пены. Поэтому концентрация может быть выражена через L , и, считая, что ламеллы после своей гибели не восстанавливаются, можно трактовать уравнение (2) как кинетическое уравнение для концентрации ламелл пены. При такой трактовке параметр τ_r можно рассматривать как время жизни блокирующей ламеллы и он может быть выражен через собственно термодинамическое время жизни τ_t и гидродинамическое время устойчивого дрейфа ламеллы τ_h как

$$\frac{1}{\tau_r} = \frac{1}{\tau_t} + \frac{1}{\tau_h} \quad (4)$$

Нужно ввести безразмерные переменные и функции следующим образом [3]:

$$P = \frac{P'}{P_{sc}}, \quad L = \frac{F}{L_0}, \quad v = \frac{v}{v_0}, \quad T = \frac{t}{\tau_r}, \quad X = \frac{x}{d},$$