

УДК 534.2;534.44

ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ УТЕЧЕК В ТРУБОПРОВОДАХ

В.С. Аврамчук, В.И. Гончаров, В.Т. Чан

Томский политехнический университет

E-mail: tranvietchau@yahoo.com

Рассматривается решение задачи обнаружения утечек в трубопроводных системах на основе создания и анализа частотно-временной корреляционной функции. Подход позволяет установить взаимосвязь частотных составляющих спектров двух сигналов и по этой взаимосвязи выявить наличие утечки и место ее расположения.

Ключевые слова:

Обнаружение утечек, частотно-временной корреляционный анализ, корреляция, спектральный анализ, корреляционный течеискатель, трубопровод, координаты.

Key words:

Leakage detection, frequency-time correlation analysis, correlation, spectral analysis, correlation leakage detector, pipeline, coordinate.

Задача обнаружения утечек в трубопроводных системах водо- и теплоснабжения, системах транспортировки нефти, газа и других продуктов была и остается до настоящего времени актуальной и сложной [1, 2]. В России в силу исторически сложившихся систем централизованного водо-, тепло- и газоснабжения, а также вследствие значительной протяженности трубопроводов и других причин, задача имеет особый вес и свою специфику и еще долгое время будет привлекать к себе внимание специалистов.

Основные подходы к решению задачи базируются на двух методах — акустическом и корреляционном [2]. Первый из них достаточно очевиден и имеет широкое распространение. Он основан на последовательном прослушивании трубопровода и выявлении места повышенной интенсивности акустического сигнала. Ограниченность метода и приборов на его основе связана с низкой чувствительностью, которая определена трудностями выделения сигнала на фоне многочисленных промышленных, уличных и иных шумов.

Корреляционный метод позволяет получать значительно более точные результаты за счет снижения влияния шумового фона окружающей среды [1]. Он использует информацию об утечке с двух разнесенных по трубопроводу точек, построении взаимной корреляционной функции [3, 4] и вычислении по ней координаты утечки. Метод позволяет получать более точные результаты, однако на фоне сильных шумов трудности решения задачи сохраняются. В определенной степени этот недостаток можно снизить за счет привлечения частотных фильтров [5], однако это требует дополнительных затрат, а главное — сами фильтры могут вносить искажения в исследуемые сигналы. Предлагаемый в работе способ направлен на уменьшение влияния помех без использования фильтров, следовательно, без дополнительного искажения информационные сигналов.

Подход базируется на корреляционной основе, суть которой демонстрирует рис. 1. Акустический

сигнал, генерируемый утечкой, распространяясь по трубопроводу, достигает датчиков 1 и 2, расположенных по обе стороны от места утечки. По сигналам датчиков можно вычислить взаимную корреляционную функцию и рассчитать координаты утечки:

$$d = \frac{v\Delta t}{2}$$

или

$$d_1 = \frac{l - v\Delta t}{2},$$

где Δt — задержка сигнала; d_1 — расстояние от места утечки до датчика 1; l — расстояние между датчиками; v — скорость распространения звука в трубе.

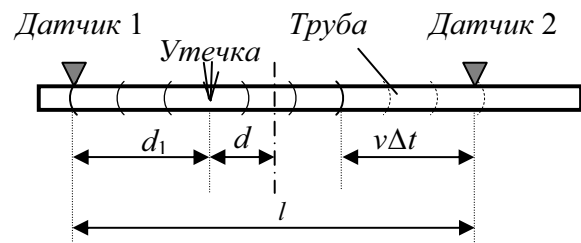


Рис. 1. Схема трубопровода с утечкой и установленными датчиками

Вычислительная сторона задачи определения корреляционной функции $r_{xy}[k]$ базируется на использовании расчетной формулы

$$r_{xy}[k] = \frac{1}{N-k} \sum_{j=0}^{N-1-k} x_{j+k} y_j,$$

в которой анализируемые сигналы представлены отсчетами $x_i, y_i, i=1,2,\dots,N$ — размер массивов входных данных; k — относительная задержка входных сигналов.

На рис. 2 показан типичный график функции $r_{xy}[k]$, максимум которой соответствует значению искомой задержки Δt . В практических задачах из-за влияния шумов получить столь очевидный максимум не всегда возможно и, следовательно, величина

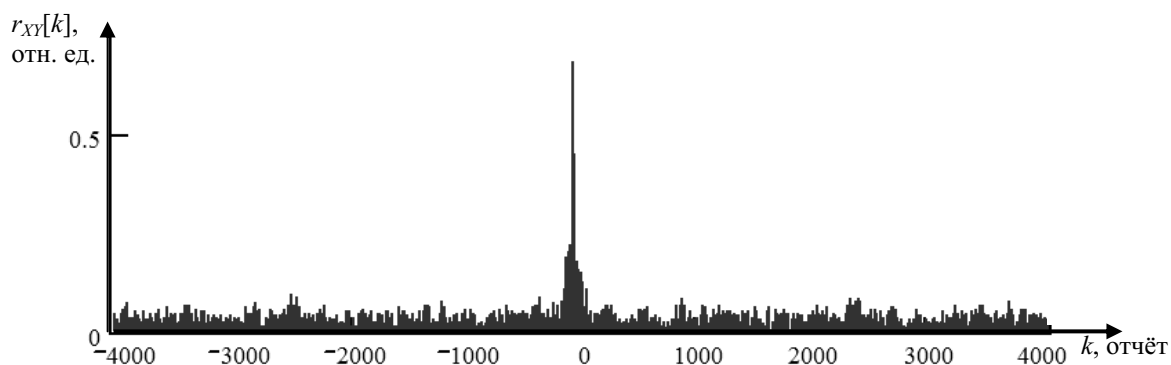


Рис. 2. График взаимной корреляционной функции

на задержки определяется с большой погрешностью и, возможно, неоднозначно.

Предлагаемый способ уменьшения влияния помех основан на привлечении информации о частотном составе сигналов и построении так называемой частотно-временной корреляционной функции [6]. Новизна решения состоит в рассмотрении взаимосвязи входных сигналов не только в области времени, но и в области частот. Имея информацию о спектре сигнала утечки, можно выбрать такой срез изображения, при котором результаты в максимальной степени соответствуют реальной ситуации.

Для пояснения сказанного обратимся к тестовому примеру. Пусть с виброакустического датчика снимается сигнал, спектр которого показан на рис. 3.

На основе этого сигнала сформируем сигнал второго датчика путем внесения задержки $\Delta t = 10^{-1}$ с. Эти два модельных сигнала и известная величина задержки позволят оценить погрешность алгоритма. Для этого найдем частотно-временную корреляционную функцию по алгоритму [6], рис. 4.

Получено характерное изображение — вертикальная полоса в диапазоне частот, соответствующая заданному сигналу, по которой определяется задержка $\Delta t = 10^{-1}$ с. Именно такая величина была задана. Изображение на рис. 4 можно рассматривать и использовать в качестве частотно-временной модели утечки. Этот результат соответствует ожидаемому — влияние помех снижено из-за использования только информативной части спектра сигнала. Следует также обратить внимание на наглядность

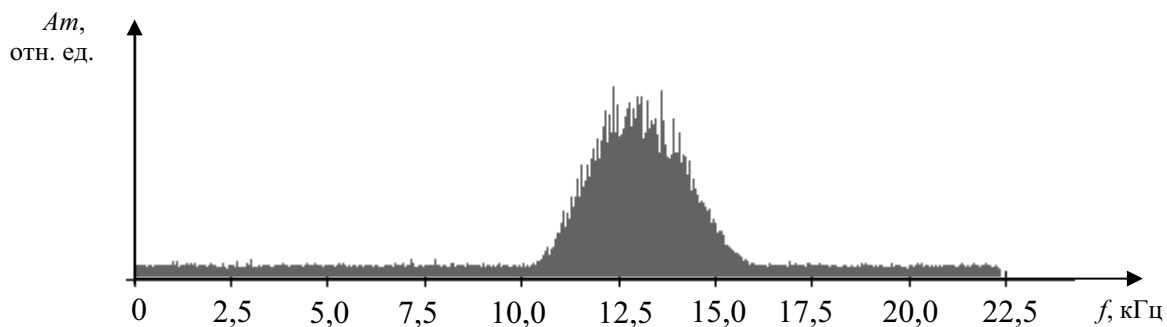


Рис. 3. Частотное распределение интенсивности A_m тестового сигнала

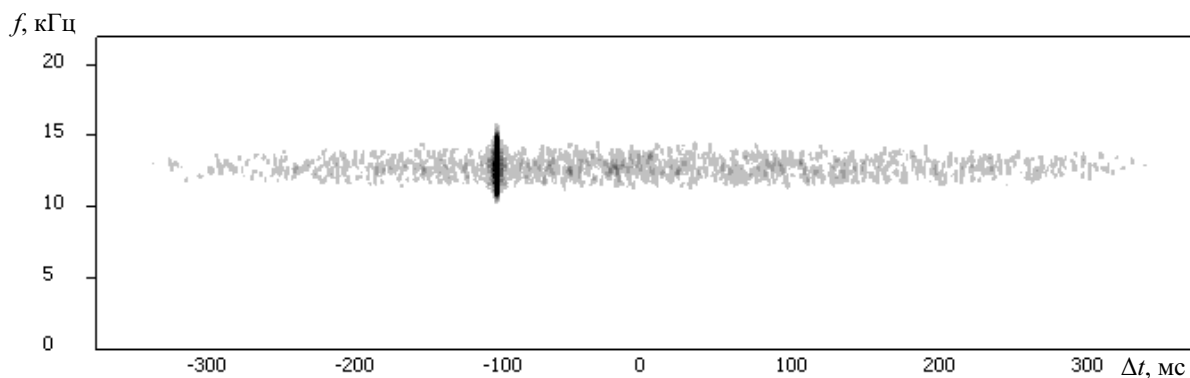


Рис. 4. Частотно-временная корреляционная функция

графического результата, что позволяет повысить точность визуального анализа. Отмеченная особенность результата может быть использована при реализации автоматических и автоматизированных режимов анализа состояния трубопроводов и определения мест утечек, если они возникли.

С целью дальнейшего раскрытия возможностей предложенного подхода продолжим его проверку на более сложных моделях, приближающихся к реальным ситуациям. Для этого рассмотрим пример анализа сигналов с аддитивными помехами, полученных с датчиков трубопровода, двумя способами – классическим корреляционным и предложенным модифицированным способами.

Ситуация близка к реальной: расстояние между датчиками $l=55$ м; расстояние от утечки до первого датчика $d_1=3$ м; скорость распространения звука по воде в трубе $v=1450$ м/с.

На рис. 5, а, приведен график взаимной корреляционной функции, рассчитанной классическим способом. По этой функции невозможно сделать определенные выводы об утечке, поэтому необходимо ослабить влияние помех путем фильтрации сигналов. Проведём полосовую фильтрацию сигнала в диапазоне 19,5... 20,5 кГц. На рис. 5, б, приведен график взаимной корреляционной функции для этого случая. Пик корреляционной функции соответствует задержке $\Delta t \approx 34$ мс, что идентифицируется как расстояние 2,82 м от первого датчика до утечки. Этот результат можно считать удовлетворительным, более того, его можно несколько улучшить, подбирая различные фильтры и контролируя получаемую погрешность. Заметим, однако, что в реальных условиях место утечки неизвестно, поэтому подбор фильтров является непростой и неоднозначной задачей.

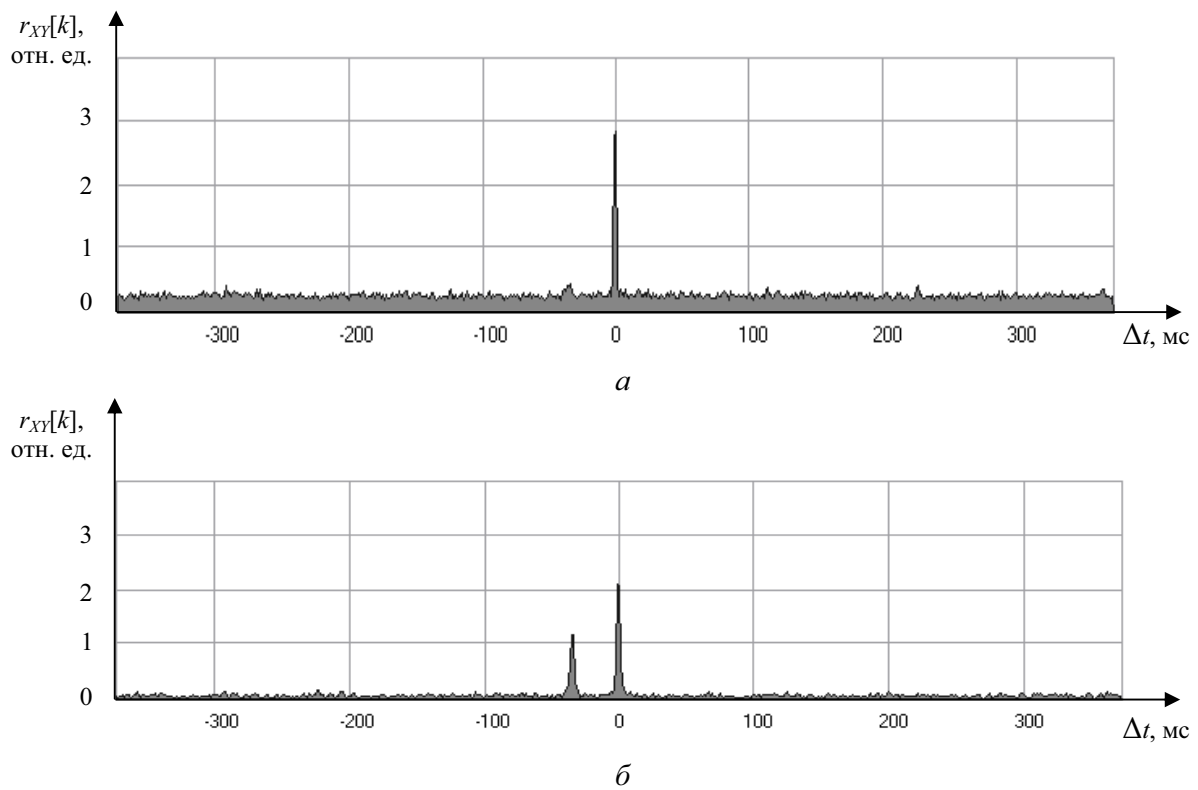


Рис. 5. Графики взаимной корреляционной функции: а) без фильтрации; б) с полосовой фильтрацией в диапазоне 19,5...20,5 кГц

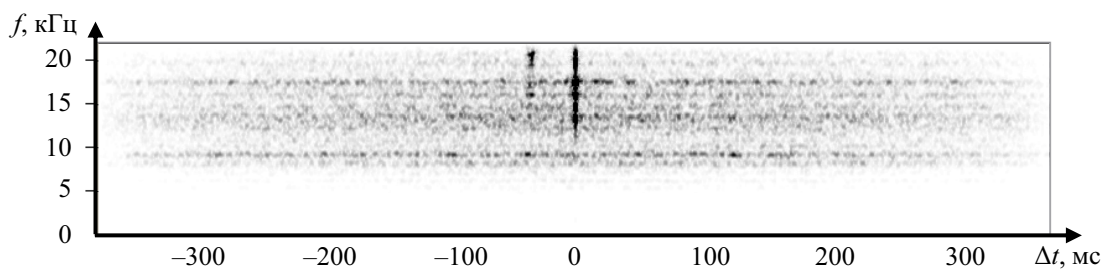


Рис. 6. График взаимной частотно-временной корреляционной функции

Перейдем к решению этой задачи на основе корреляционного частотно-временного подхода. На рис. 6 приведено отображение этой функции в виде двух вертикальных линий. Первая из них соответствует нулевой задержке; она свидетельствует о наличии собственных шумов аппаратуры, используемой для получения экспериментальных данных. Вторая линия соответствует величине $\Delta t \approx 33,8$ мс и расстоянию до утечки, равному 3,02 м. Точность расчета повысилась на порядок, что свидетельствует о преимуществах предложенного подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кармазинов Ф.В., Махнев П.П., Юдин М.Ю. Методика определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения // Вода Magazine. – 2004. URL: http://www.watermagazine.ru/spravky/pravo/398-2010-01-17-10-13-48.html?format=html&Itemid=49&option=com_content&id=398:2010-01-17-10-13-48&view=article&layout=default&month=2&year=2010 (дата обращения: 18.06.2010).
2. Иоффе О. Подземный город // ТехСовет. 2007. URL: <http://www.tehsovet.ru/article-2007-4-1-862> (дата обращения: 18.06.2010).

Выводы

1. На основе анализа частотно-временной корреляционной функции решена задача обнаружения утечек в трубопроводных сетях.
2. Предлагаемое решение можно рассматривать как развитие корреляционного метода в задачах анализа сигналов, в частности, в задачах определения мест утечек в трубопроводных сетях.
3. Подход позволяет установить взаимосвязь частотных составляющих спектров двух сигналов и по этой взаимосвязи выявить наличие утечки и место ее расположения.

3. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2008. – 992 с.
4. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свертки. – М.: Радио и связь, 1985. – 248 с.
5. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры / под ред. проф. А.М. Трахмана. – М.: Советское радио, 1980. – 224 с.
6. Чан Вьет Тьяу, Аврамчук В.С. Частотно-временной корреляционный анализ цифровых сигналов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 5. – С. 112–115.

Поступила 25.03.2010 г.

УДК 53.082.4;621.64

ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ВНУТРИТРУБНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Курочкин, Н.Н. Бочкарев*

ОАО «Научно-производственный центр «Полюс», г. Томск
*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск
E-mail: kuroch74@mail.ru

Представлены результаты полевых измерений спектральных характеристик вибраций магистрального газопровода при движении очистного скребка. Эксперименты проведены с использованием акселерометра, подключаемого к портативному спектроанализатору. Полученные данные демонстрируют возможность определения местоположения и скорости движения внутритрубного объекта.

Ключевые слова:

Магистральный газопровод, очистной скребок, вибрации, эксперимент, спектральные характеристики, местоположение, скорость.

Key words:

Gas-main pipeline, cleaning gear, vibrations, experiment, spectral characteristics, location, speed.

При эксплуатации магистральных нефтегазопроводов происходит загрязнение внутренней поверхности трубы продуктами транспортирования и конденсатом, что приводит к снижению скорости потока нефти или газа, уменьшению пропускной способности нефтегазопровода и ускорению коррозионных процессов.

С целью механической очистки и контроля состояния трубопровода в него запускают очистные устройства и дефектоскопы – внутритрубные объекты (ВТО). В некоторых случаях они застревают внутри трубы. Если не удастся заставить ВТО

продолжить движение, то устанавливают его местоположение и извлекают с нарушением целостности трубы.

Местоположение застрявшего в трубе объекта определяют с помощью специальных приборов – сигнализаторов перемещения ВТО в потоке газа или нефти. Одни приборы регистрируют внутритрубный шум, возбуждаемый движущимся объектом в звуковой или ультразвуковой области спектра [1], другие – измеряют интенсивность звука газоструйных излучателей, устанавливаемых на ВТО [2], третьи – фиксируют изменения электромаг-