



РАЗРАБОТКИ

→ АКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Тема статьи:

В статье рассматриваются особенности характеристик сигналов утечки в пластиковых трубопроводах и даются практические рекомендации по использованию корреляционных течеискателей при диагностике пластиковых труб.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ТЕЧЕЙСКАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК В ПЛАСТИКОВЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Кошкин С.Ю.,

начальник отдела продаж ООО «ЭКОЛИНК»

Сокращение запасов пресной воды является предметом все большей озабоченности мировой общественности. Ожидается, что в ближайшие несколько десятилетий положение резко ухудшится хотя бы потому, что ежегодно запасы пресной воды на планете сокращаются на 2%, а число ее потребителей продолжает неуклонно расти. Частично решить эту проблему можно путем сокращения объемов потерь воды в распределительных сетях. Потери воды, главным образом, происходят вследствие утечек в распределительных сетях. Объем утечек может составить существенную часть от общего объема воды, транспортируемой по водопроводной сети. Утечки не только вызывают потери воды, но также представляют угрозу для здравоохранения, влекут за собой большие экономические потери вследствие увеличения расходов электроэнергии на водоочистку, водоподготовку и поддержание давления в трубопроводных сетях. Скрытые утечки могут представлять серьезную угрозу для объектов инфраструктуры, таких

как здания, сооружения и автомагистрали. Таким образом, снижение количества утечек в распределительных сетях – жизненно важная составляющая общей стратегии снижения расходов пресной воды, самого фундаментального из наших естественных ресурсов.

Корреляционный метод является единственным известным на сегодняшний день достоверным способом обнаружения и локализации скрытых утечек в трубопроводах. Опыт практического применения различных методов поиска утечек и накопленные экспериментальные данные подтверждают преимущества корреляционного метода обнаружения утечек в сравнении с другими, что позволяет говорить о высокой оценке метода специалистами во всем мире [1]. Факт, что корреляционные течеискатели показывают очень высокую эффективность на металлических трубопроводах, уже не вызывает сомнений. Однако поставленная проблема до сих пор не имеет столь же эффективного решения для пластиковых трубопроводов, в которых



ООО «ЭКОЛИНК»

198099, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Калинина, д. 22, офис 412

+7 (812) 747-34-42 +7 (812) 252-41-58

ООО «ЭКОЛИНК» было основано в 2003 году. В состав ООО «ЭКОЛИНК» входят специалисты, имеющие большой стаж работы в области технической диагностики и неразрушающего контроля.

Основными видами деятельности компании являются:

- экспертиза промышленной безопасности технических устройств;
- проведение неразрушающего контроля промышленного оборудования и коммуникаций;
- поставки диагностического оборудования, приборов и материалов для неразрушающего контроля ←

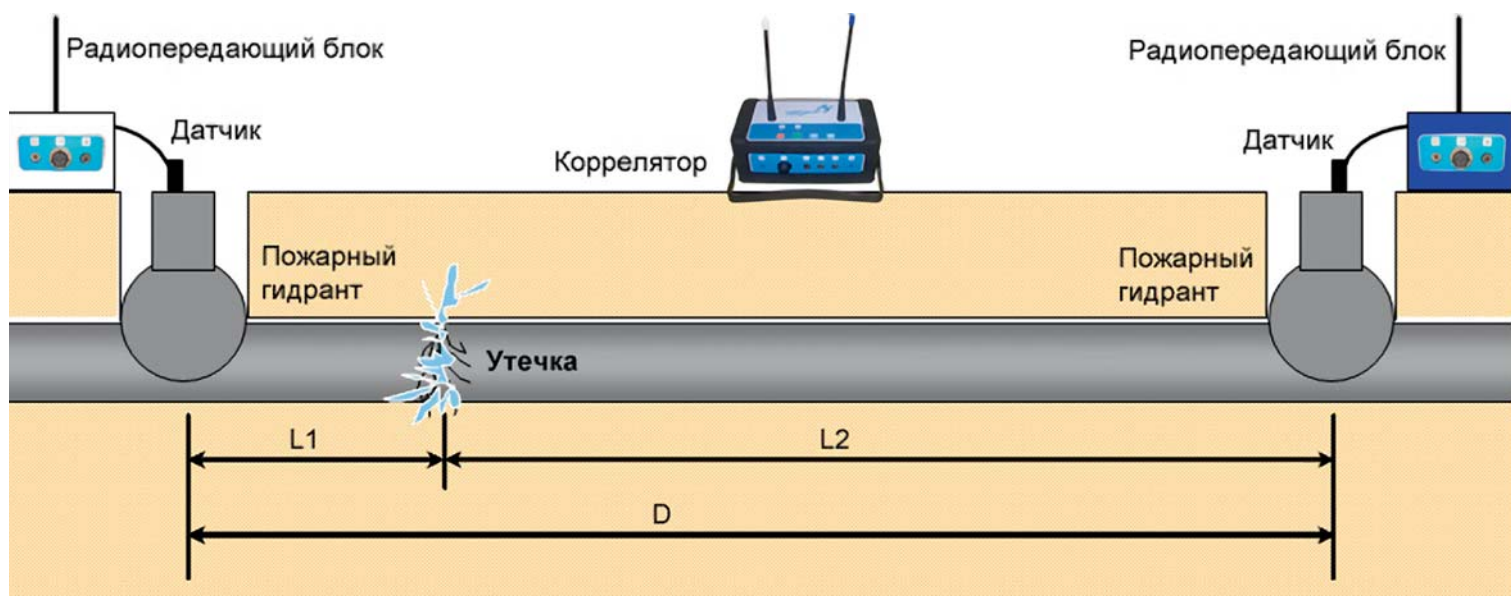


Рис. 1. Принцип действия корреляционных течеискателей

коэффициент ослабления сигнала утечки с увеличением расстояния очень высок, и шум утечки является низкочастотным и узкополосным. Однако в последние годы пластиковые трубопроводы все больше используются в водных хозяйствах из-за их неоспоримых преимуществ, таких как длительный срок службы, относительная простота прокладки и низкая стоимость по сравнению с металлическими трубопроводами. Поэтому настоящая статья фокусируется, прежде всего, на выявлении особенностей, рассмотрении и расшифровке характеристик сигналов утечки в пластиковых трубопроводах при использовании корреляционных течеискателей.

Обнаружение и локализация утечек в пластиковых трубопроводах

Утечка в трубопроводе генерирует шум (акустические и вибрационные сигналы), который передается на большие расстояния, как по самой трубе, так и в грунте, расположенном близко к месту утечки [2, 3]. Характеристики этого шума зависят, прежде всего, от гидравлического давления, материала и диаметра трубопровода, толщины стенок трубы, размера и формы утечки. Термин «шум» в данном контексте обозначает комбинацию сигналов утечки и окружающего шума, исходящего от различных источников. Акустические устройства, такие как гидрофоны и механические устройства измерения уровня вибрации, акселерометры, являются самыми распространенными преобразователями, которые используются для измерения уровня этого шума. Сигналы, полученные от этих преобразователей,

обычно анализируются корреляционными течеискателями [2].

Принцип действия корреляционных течеискателей основан на правиле взаимной корреляции сигналов утечки, которые получены от преобразователей (датчиков), установленных в двух известных точках доступа (например, на пожарных гидрантах) по обе стороны от утечки (рис. 1). В случае обнаружения утечки в соответствующей области гистограммы формируется четкий пик. Для вычисления точного местоположения утечки с использованием метода корреляции обозначим сигналы, измеренные в точках установки датчиков 1 и 2, через функции $x_1(t)$ и $x_2(t)$ соответственно. Если принять время прохождения сигналов утечки от места утечки до точки установки датчика 1 равным t_1 , время прохождения этих сигналов до точки установки датчика 2 равным t_2 , а время задержки между двумя сигналами $\tau_{\text{задержки}}$, тогда расстояние (L_1) от места расположения утечки до точки установки датчика 1 рассчитывается по формуле:

$$L_1 = (D - v\tau_{\text{задержки}}) / 2 \quad (1),$$

где v – скорость распространения звука в водопроводной трубе, L_2 – расстояние от места утечки до датчика 2, и D – общее расстояние ($L_1 + L_2$) между двумя датчиками. Скорость распространения (v) напрямую зависит от характеристик трубопровода и может быть рассчитана с достаточной точностью, используя различные теоретические и практические методы. Время задержки ($\tau_{\text{задержки}}$) определяется путем взаимной корреляции измеренных сигналов утечки. Точность определения

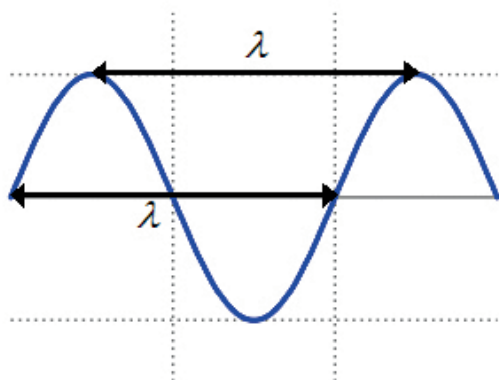


Рис. 2. Графическое представление длины волны

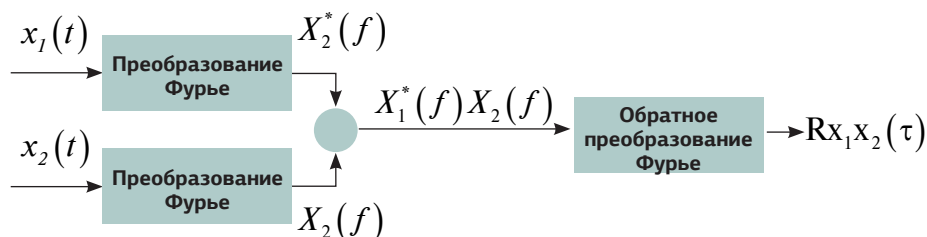


Диаграмма. 3.

зависит от типа датчиков, их расположения и способа обработки полученных сигналов. Взаимнокорреляционная функция двух измеренных сигналов утечки $x_1(t)$ и $x_2(t)$ обычно осуществляется в определенном частотном диапазоне [4] для упрощения вычислений, путем применения обратного преобразования Фурье согласно формуле (2):

$$R_{x_1x_2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} X_1^*(f) X_2(f) e^{j2\pi f\tau} df \quad (2),$$

где $R_{x_1x_2}$ – взаимнокорреляционная функция двух сигналов утечки; $X_1^*(f)$ и $X_2(f)$ – Фурье-образы сигналов $x_1(t)$ и $x_2(t)$ соответственно; знак * в верхнем индексе обозначает сопряжение. На диаграмме (3) схематически показана последовательность математических

преобразований, необходимых для получения взаимнокорреляционной функции сигналов, измеренных двумя датчиками (рис. 1).

Доказано, что корреляционный метод очень эффективен при обследовании металлических трубопроводов; однако этого нельзя сказать о работе коррелятора на пластиковых трубах, в которых коэффициент ослабления сигнала утечки очень высок, а сами сигналы утечки являются низкочастотными и узкополосными. В сравнении с методами обследования металлических труб, существуют фундаментальные отличия в методах, которые должны использоваться для корреляции утечек в пластиковых трубопроводах и трубах большого диаметра. Проще говоря, методы, успешно используемые профессионалами по обнаружению утечек в чугунных магистральных трубопроводах, могут оказаться совер-

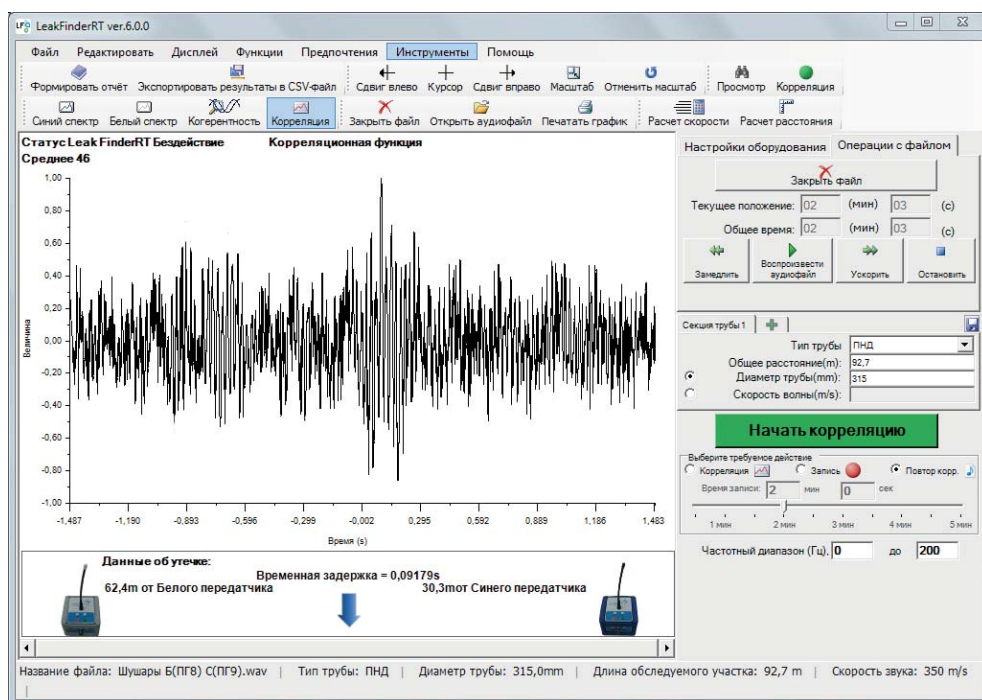


Рис.3. Результат корреляции на пластиковом трубопроводе

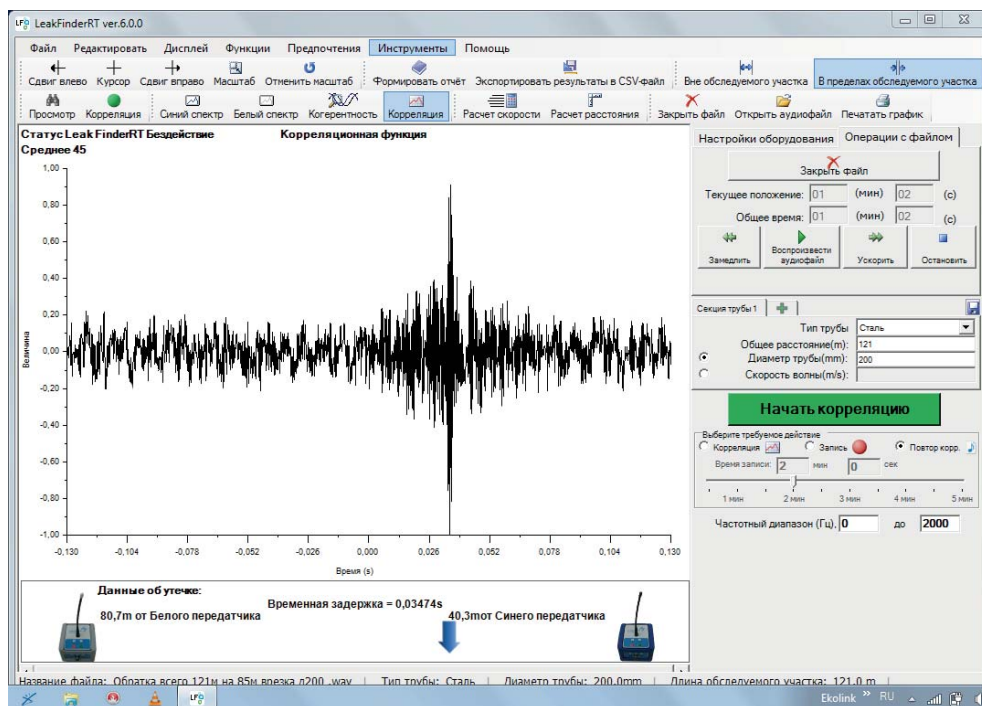


Рис.4. Типичная утечка в металлической трубе

шенно бесполезными при обследовании трубы из ПВХ аналогичного диаметра. Цель настоящей статьи – показать различия в физических процессах, происходящих в трубопроводах из пластика и металла и, как следствие, различия в технических приемах, которые необходимо учитывать для проведения успешной корреляции.

Физические аспекты корреляции сигнала утечки в пластиковых трубопроводах и трубах большого диаметра

Метод корреляции шума утечки основан на определении источника так называемого нерассеивающегося сигнала, который включает в себя шум, распространяющийся по стенкам трубопровода и шум, распространяющийся по воде, которая заполняет трубопровод. Предполагается, что нерассеивающийся сигнал – это акустические колебания, не подверженные рассеиванию, которые могут распространяться на большие расстояния без ослабления.

Проблемы с обычными техническими приемами корреляции возникают вследствие нескольких факторов: **Демпфирование.** Более высокий коэффициент демпфирования волн в пластиковом трубопроводе означает, что акустические сигналы в трубопроводе из ПВХ, например, ослабляются и затухают на значительно меньшем расстоянии, по сравнению с металлическим трубопроводом. По этой причине общий уровень акустических сигналов в пластиковом трубопроводе будет намного ниже, чем в металлическом. Это означает, что такие параметры, как

расстояние между датчиками (длина диагностируемого участка трубы), а также тип и качество изготовления самих датчиков играют очень важную роль.

Частотный диапазон. Более низкий диапазон частот распространения звуковых волн в пластиковых трубопроводах и трубах большого диаметра ставит проблему более детального изучения физических процессов, протекающих в них, а также выявления параметров, измерение которых позволило бы произвести точный расчет местоположения предполагаемой утечки и, собственно, методов и инструментов измерения.

Частотный диапазон

В результате опытно-промышленных работ, проведенных специалистами компании «ЭКОЛиНК», была определена характерная особенность – спектр звуковых волн, распространяющихся в пластиковых трубопроводах и трубах больших диаметров, значительно смещен в область низких частот. Например, частотный диапазон сигнала типичной утечки в ПВХ-трубопроводе диаметром 150 мм находится в области между 10 Гц и 40 Гц. Для сравнения, громкоговорители большинства акустических систем (за исключением сабвуферов) имеют резкий подъем АЧХ на частоте около 50 Гц (слышимый диапазон человеческого уха, как правило, составляет от 20 Гц до 20кГц). Приведенные выше факты позволяют сделать выводы о следующих существенных ограничениях, имеющих место при поиске утечек в пластиковых трубопроводах и трубах большого диаметра:

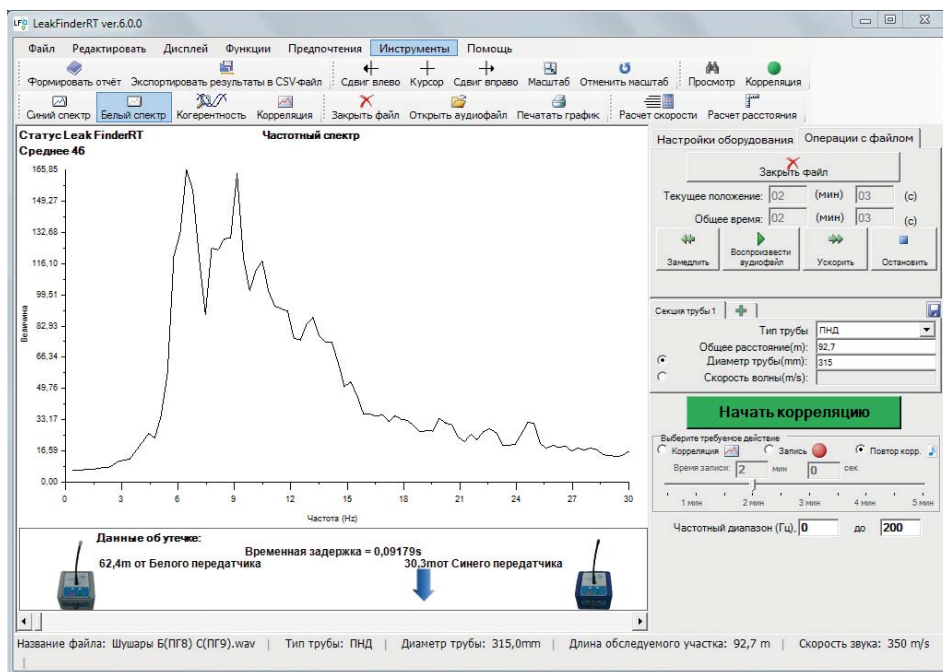


Рис.5. Частотный спектр шума утечки в пластиковом трубопроводе

- Попытки обнаружить утечку, используя акустические методы обследования труб (например, располагая контактный щуп или датчик-акселерометр на пожарном гидранте) обычно не приносят успеха. Это происходит вследствие того, что частотный спектр шума утечки находится в области низких частот, и поэтому такой шум трудно или невозможно определить как утечку.
- Метод обнаружения утечки с использованием электронных регистраторов шума также абсолютно неэффективен до тех пор, пока регистратор не будет установлен на очень близком расстоянии до утечки.
- Место установки чувствительных элементов (датчиков) для регистрации шума утечки должно выбираться с учетом физических процессов распространения волн и применительно к конкретной ситуации. Очень важно, чтобы датчики имели соответствующую согласованную АЧХ.
- Распространение низкочастотного звука/вибрации будет ограничено волновым сопротивлением фитингов и запорной арматуры. Более детально данное положение рассмотрено в разделе практических рекомендаций.

Демпфирующая способность материала

Демпфирующая способность трубопровода из синтетического полимера, такого как ПВХ, намного выше демпфирующей способности трубопровода из металла.

- Высокая демпфирующая способность пластикового трубопровода означает, что звук утечки будет быстро ослабляться с увеличением расстояния от источника. Это накладывает ограничения к расстоянию, на котором должны быть расположены чувствительные элементы (датчики) течеискателя для успешной корреляции сигнала утечки в пластиковых трубах.
- Демпфирующие свойства материала также должны учитываться при выборе типа датчиков, которые могут использоваться в конкретной ситуации.

Практические наблюдения, и рекомендации

Физические процессы корреляции сигналов в пластиковых трубопроводах и трубах большого диаметра делают неприменимыми традиционно используемые методы корреляции, дающие эффективные результаты в чугунных и стальных трубопроводах. В стандартном трубопроводе (диаметр 150 мм) из поливинилхлорида частотный спектр утечки будет, как правило, сосредоточен около частоты 20 Гц. Как уже было сказано выше, это – начало слышимого диапазона человеческого уха. В случае звуковой волны ее длина рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{v}{f},$$

где, v является скоростью звука, и f – частота. Например, скорость звука в воде составляет примерно 1447 м/с при температуре воды около 10 °С. Таким образом, имея частоту шума утечки в пластиковом трубопроводе

де порядка 20 Гц, можно рассчитать длину звуковой волны в такой трубе:

$$f = 20 \text{ Гц}$$
$$\lambda = \frac{1447}{20} = 72,4 \text{ м}$$

Расчет показывает, что звуковая волна в трубопроводе ПВХ совершает одно колебание каждые 72 метра. Схематическое изображение для синусоидальной волны показано на рис. 2.

Наблюдения показали, что такая большая длина волны сигнала проявляется в демпфировании звуковых волн множеством источников. Это необходимо учитывать на практике при обнаружении утечек в пластиковых трубопроводах с помощью корреляционного метода. Например, один из часто используемых способов получения доступа к трубопроводу для проведения корреляции – монтаж датчика течеискателя на ключ запорной арматуры, который установлен на шток задвижки. Этот прием не может использоваться для проведения корреляции сигналов утечки на трубах из ПВХ или ПНД, поскольку ключ представляет собой механический «фильтр» для низкочастотных волн шума утечки.

Пример утечки в пластиковом трубопроводе

В качестве примера можно привести результаты корреляции фактической утечки на 315-миллиметровом ПНД-трубопроводе (полиэтилен низкого давления) в пос. Шушары, Санкт-Петербург. Корреляция проводилась с использованием усовершенствованного корреляционного течеискателя LeakFinder RT, спроектированного специально для обнаружения утечек в пластиковых трубах. Утечка в этом случае находилась в месте сварного шва. На (рис. 3) показана корреляционная функция данной утечки. Несложно заметить различие в форме этой корреляции с типичной корреляцией на металлическом трубопроводе (рис. 4). Причина этого – низкочастотный диапазон шума утечки. Следует отметить, что при проведении корреляции в качестве преобразователей использовались не акселерометры, более пригодные для диагностики металлических трубопроводов, а накладные низкочастотные датчики производства компании Echologics Engineering Inc. (Канада). Рассмотрев подробнее частотный спектр шума утечки (рис. 5) можно сказать, что он характерен для шума, распространяющегося в 315 мм ПНД-трубопроводе. Диапазон частот сосредоточен вокруг частоты приблизительно 10 Гц, что значительно ниже частот утечки, которые были зарегистрированы на ПВХ-трубопроводе 150 мм.

В этом примере расстояние между пожарными гидрантами, на которых монтировались датчики, составляло 92,7 м. Как правило, это практически предельное расстояние между датчиками накладного типа при проведении корреляции на пластиковых трубопроводах или трубах большого диаметра. Обычно накладные датчики используются при расстоянии между точками их установки, не превышающем 100 м, при корреляции более протяженных участков необходимо использовать датчики-гидрофоны, которым необходим прямой контакт с жидкостью в трубе.

Измерения, проведенные на магистральных металлических трубопроводах больших диаметров, показали аналогичные результаты. Экспериментальным путем выяснилось, что шум утечки в чугунной 600-миллиметровой трубе имеет схожие частотные характеристики с шумом утечки на 150-миллиметровом трубопроводе из ПВХ и находится в диапазоне 20 Гц – 50 Гц.

Выводы

Низкочастотный характер сигнала утечки в пластиковых трубопроводах и трубах большого диаметра накладывает ограничения на применяемое оборудование и методы, что делает корреляцию утечек в трубопроводах такого типа значительно более сложной, по сравнению с корреляцией на металлических трубопроводах. Специалисту, проводящему измерения, необходимо учитывать физические процессы распространения звука в трубопроводах ПВХ и ПНД.

Типичная практика использования ключей запорной арматуры для получения доступа к точкам измерения, распространенная при проведении корреляции утечек на металлических трубопроводах, не применима для случаев корреляции на пластиковых трубопроводах или трубах большого диаметра вследствие демпфирования ключом низкочастотного сигнала.

Литература

1. UKWIR. Manual of DMA Practice. // Published by UK Water Industry Research Limited, London, U.K. – 1999.
2. O. Hunaidi, W. Chu, A. Wang and W. Guan. «Detecting leaks in plastic pipes». // Journal of the American Water Works Association. – 2000. – vol. 92.
3. O. Hunaidi and W.T. Chu. Acoustical characteristics of leak signals in plastic water distribution pipes // Applied Acoustics. – 1999. – vol. 58.
4. M. Pal, N.Dixon, J.A. Flint and S. Datta. Characterising Leak Signals in Medium Density Polyethylene Pipes// Proceedings of National Symposium on Acoustics (NSA-2006), New Delhi INDIA. – 2006.