

Основные методы поиска утечки воды, реализованные в передвижной (мобильной) лаборатории ЛПУ ООО "Энерго-Профиль"

Определение мест утечек воды из скрытых трубопроводов под давлением является серьезной проблемой в работе коммунальных служб (водопроводные и тепловые сети). Большое количество утечек, большие эксплуатационные затраты на земляные, восстановительные и другие работы, перебои в подаче воды и тепла потребителям и т.д., - все это обуславливает острую потребность в точном и оперативном определении мест утечек, локализации земляных работ и быстром восстановлении водопроводных и тепловых сетей.



Передвижная лаборатория поиска утечки воды типа ЛПУ, предлагаемая ООО «Энерго-Профиль» г. Ярославль позволяет с большой точностью определить место утечки и провести диагностику трубопровода.

Базовые транспортные средства лаборатории ЛПУ:

- УАЗ-3909 4x4
- ГАЗ-2705 Газель 4x2
- ГАЗ-27057 Газель 4x4
- другие

Существует три инструментальных метода определения мест утечки воды в трубопроводах водопроводных и тепловых сетей: корреляционный, акустический (слуховой) и тепловой.

Оборудование мобильной лаборатории ЛПУ реализует все 3 метода, комплексное использование которых позволяет с большой точностью определить место утечки.

Корреляционный метод определения мест утечек воды (жидкости) в трубопроводах и принцип работы трубопроводных корреляционных течеискателей.

Корреляционный метод обнаружения утечек среды в трубопроводах и определения мест их расположения основан на измерении виброакустического сигнала, генерируемого утечкой, с помощью двух датчиков, установленных непосредственно на трубопроводе. Если два датчика установить с двух сторон (в двух колодцах) от предполагаемого места утечки и измерить с помощью 2-х канального анализатора взаимно-корреляционную функцию (далее по тексту - функцию кросскорреляции), то в этом случае можно определить разницу (задержку) по времени распространения сигнала от утечки до одного и до второго датчика.

Задержка определяется по максимуму функции кросскорреляции сигналов, измеренных датчиками. При известной скорости распространения сигнала (звука) по трубе и, зная расстояние между датчиками (колодцами, в которые они установлены), можно точно определить место расположения утечки с помощью элементарного расчета по формуле:

$$l_{1,2} = 1/2 (l \pm v \cdot t),$$

где

l - расстояние между датчиками

v - скорость распространения звука в трубе (м/с);

t - задержка по времени, определенная по максимуму функции кросскорреляции сигналов, измеренных двумя датчиками;

$l_{1,2}$ - расстояние от утечки до одного (1) или другого (2) измерительного датчика.

Знак \pm определяется тем, до какого из 2-х датчиков определяется расстояние от утечки, первого или второго.

Точность определения места утечки с помощью данного метода зависит от точности измерения временной задержки (точности идентификации максимума кросскорреляционной функции), точности измерения расстояния между датчиками и от точности определения скорости распространения сигнала утечки по трубопроводу.

Первое (с методической точки зрения наиболее важное) определяется совершенством измерительного прибора как электронного устройства и применяемыми в нем алгоритмами программной обработки сигналов.

Второе - знанием трассы трубопровода.

Третье - отклонениями скорости распространения звука по трубе от её усредненного значения (1200 м/с), которые зависят от материала и способа укладки труб, температуры, давления, природы перекачиваемой жидкости, структуры грунта и других.

При условии корректного проведения измерений и выполнении всех необходимых требований, касающихся данной технологии точность обнаружения и определения мест расположения утечек с помощью корреляционного метода очень высокая (существенно выше акустического метода).

Иллюстрация корреляционно-акустического метода определения утечек, базирующегося на совместной обработке виброакустических сигналов, измеряемых двумя пьезодатчиками, устанавливаемыми на трубопровод в двух точках измерения, находящихся по концам проверяемого сегмента трубопровода приведена на рис. 1.

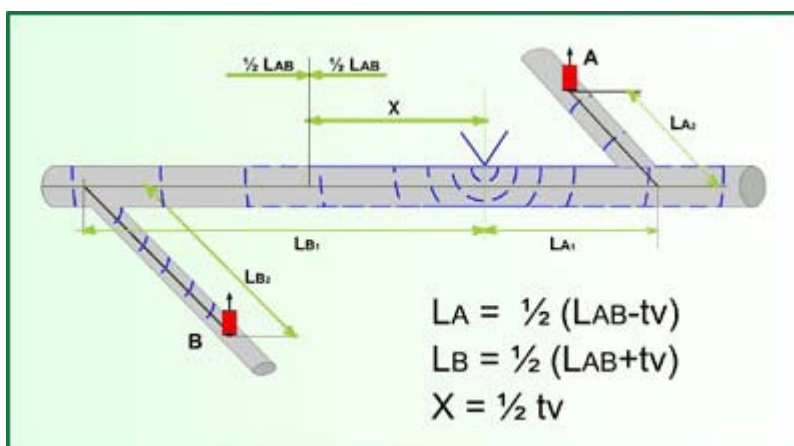


Рис. 1. Иллюстрация корреляционно-акустического метода определения мест утечек в трубопроводах.

LAB - расстояние между точками A и B (измеренное вдоль трубы);
LA - расстояние до утечки от точки A;
LB - расстояние до утечки от точки B;
t - время задержки прихода сигнала в т. A относительно т. B;
v - скорость распространения сигнала по трубе.

Корреляционные течеискатели работают на основе корреляционно-акустического метода определения мест утечек сред в трубопроводах под давлением.

Виброакустические сигналы, измеряемые в точках A и B, подвергаются усилению, оцифровке и синхронной обработке с помощью математического аппарата быстрого преобразования Фурье для получения ряда взаимных спектрально временных функций, в частности, функций кросскорреляции и когерентности. Упомянутые функции, особенно функция кросскорреляции, обеспечивают контроль состояния выбранного сегмента трубопровода и утечек.

Функциональная схема корреляционного течеискателя представлена на рис. 2.

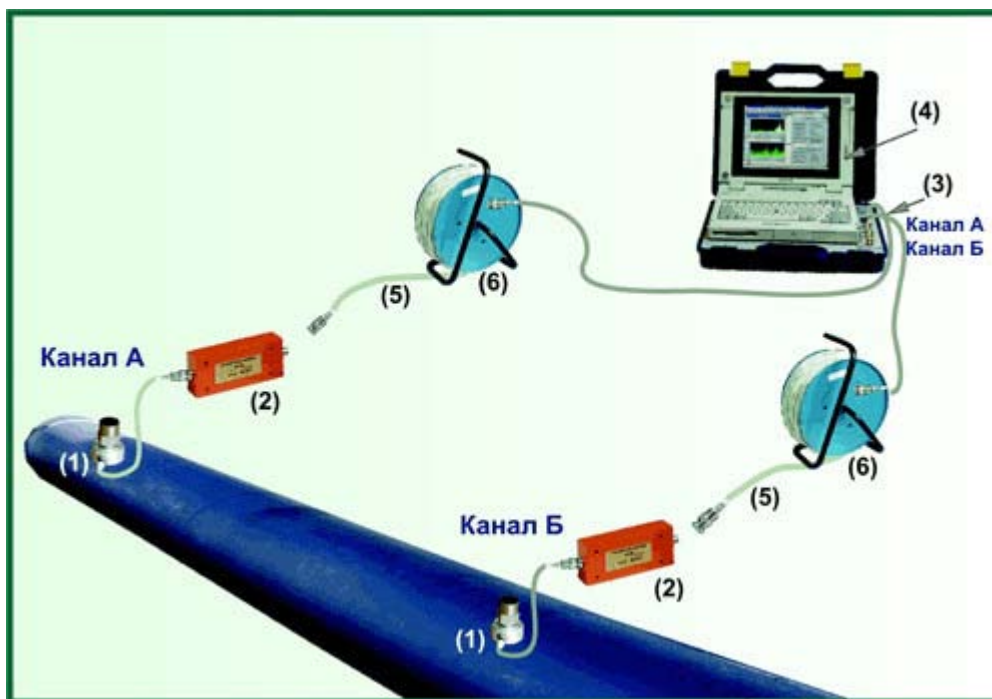


Рис. 2. Функциональная схема корреляционного течеискателя.

Функциональная схема корреляционного течеискателя содержит следующие электронные устройства:

- два вибропреобразователя пьезоэлектрических (пьезоакселерометры - 1) - это датчики, улавливающие виброакустические сигналы утечки, устанавливаемые в контрольных точках трубопровода;
- два предусилителя (2), находящиеся вблизи от контрольных точек трубопровода (как правило, не дальше 2-7 м от датчиков);
- измерительный прибор, содержащий модуль обработки сигналов (3), представляющий собой двухканальный полнофункциональный анализатор сигналов с синхронной обработкой сигналов по двум каналам и портативный компьютер ноутбук (4), содержащий программы обработки и управления модулем обработки.

Датчики (1) с подсоединенными к ним предусилителями (2) составляют две чувствительных системы (А и В). Вторичный прибор в составе модуля обработки (3) и компьютера (4) составляют систему обработки сигналов, или коррелятор.

В течеискателе сигнал от чувствительных систем А и В на коррелятор передается по экранированным кабелям (5), кабели для удобства работы намотаны на кабельные катушки (6).

Принцип работы течеискателя:

Датчики (1) устанавливаются на трубопроводе в доступных колодцах или на частях запорной арматуры, выходящих из-под земли. Выбор точек измерения определяется сегментом трубопровода, который необходимо проверить (см. рис. 1).

Датчики преобразуют виброакустические сигналы в точках измерений в электрические сигналы, которые подаются на подключенные к ним предусилители (2), усиливающие поступающие сигналы. Далее сигналы с чувствительных систем А и В по кабелю (в кабельной модификации) или по радиоканалу (бескабельная модификация) передаются на модуль обработки (3) коррелятора. Модуль обработки осуществляет аналогово-цифровое преобразование по двум каналам А и В и передает преобразованные в цифровой вид сигналы по параллельному порту в компьютер (4).

В компьютере осуществляется программная обработка сигнала для получения временных и спектральных аналитических функций (в том числе, функций когерентности и кросскорреляции). Для определения утечки в компьютер также нужно ввести расстояние между датчиками и скорость распространения звука. Справочные данные значений скорости звука для различных трубопроводов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Скорость распространения звука в трубах (ориентировочные данные)

Диаметр трубопровода, мм	Серый чугун, м/сек	Высокопрочный чугун, м/сек	Сталь, м/сек	Асбестоцемент, м/сек	ПВХ, м/сек
60	1386	1346	1298	1168	468
80	1328	1322	1279	1110	460
100	1287	1302	1268	1107	376
150	1247	1255	1234	1098	370
200	1219	1212	1225	1057	294
250	1196	1134	1208	1049	268
300	1176	1160	1199	987	-
350	1162	1143	1192	976	-
400	1149	1126	1153	953	-

Свинец - 1100 м/сек. Полиэтилен - 230-300 м/сек.

Если утечки нет (и нет также иных постоянных точечных источников звука) в точках А и В измеряются виброакустические сигналы, соответствующие случайным шумам, распространяющимся внутри и вне трубы. Полученные аналитические функции при этом показывают, что утечка отсутствует (рис. 3-4).

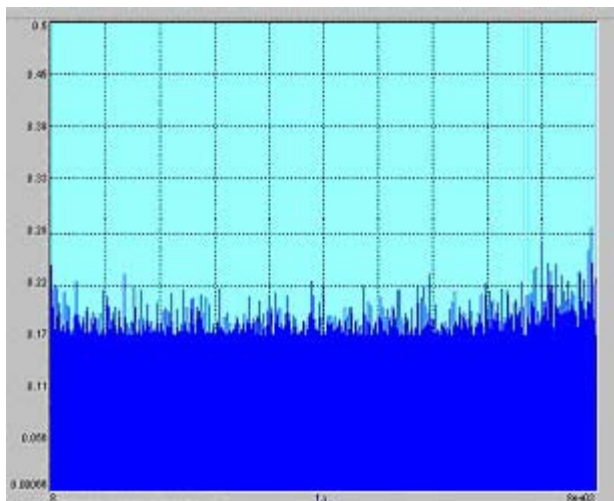


Рис. 3. Функция когерентности на экране коррелятора при отсутствии утечки.

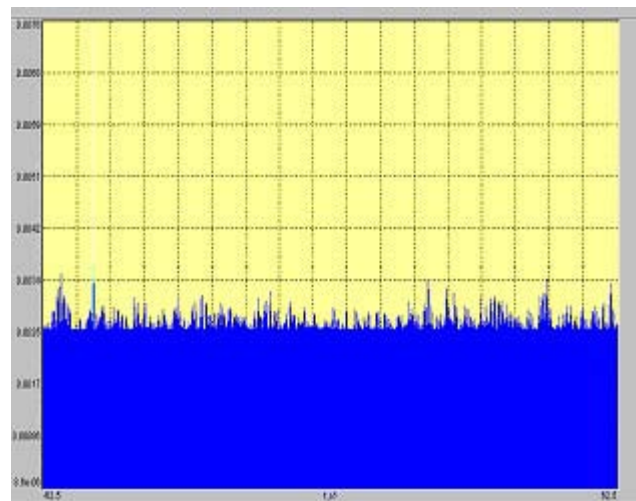


Рис. 4. Функция кросскорреляции на экране коррелятора при отсутствии утечки.

В этом случае, проверке подвергается смежный с проверенным сегмент трубопровода (или иной сегмент в зависимости от ситуации). Таким образом, последовательной проверкой сегментов трубопровода, проверяется весь подлежащий проверке участок трубопроводной сети для определения наличия утечки.

Утечка на трубопроводе является источником звукового сигнала (звуковых волн), который генерируется истечением среды. Сигнал от утечки распространяется вдоль трубы в двух направлениях - к точкам измерения А и В, расположенным с двух сторон от утечки. Время распространения сигнала до точек А и В будет различно в зависимости от расстояния от этих точек до утечки. В результате сигналы, полученные в точках А и В, будут сдвинуты во времени относительно друг друга на разницу времени прохождения сигнала утечки до этих точек. Если по этим сигналам рассчитать их функцию кросскорреляции, то получим ярко выраженный максимум, соответствующий этому временному сдвигу. Коррелятор как раз и предназначен для вычисления функции кросскорреляции этих 2-х сигналов. По расположению максимума функции кросскорреляции коррелятор измеряет упомянутую задержку сигналов и после введения расстояния между датчиками и скорости распространения звука рассчитывает по приведенным на рис. 1 формулам расстояние до утечки. Изображения функции кросскорреляции и функции когерентности на экране коррелятора при наличии утечки представлены на рис. 5-6. Функция когерентности является неким аналогом функции

кросскорреляции, но в частотной области. Она позволяет оценить ширину спектра сигнала утечки и выделить полосу анализа для расчета функции кросскорреляции.

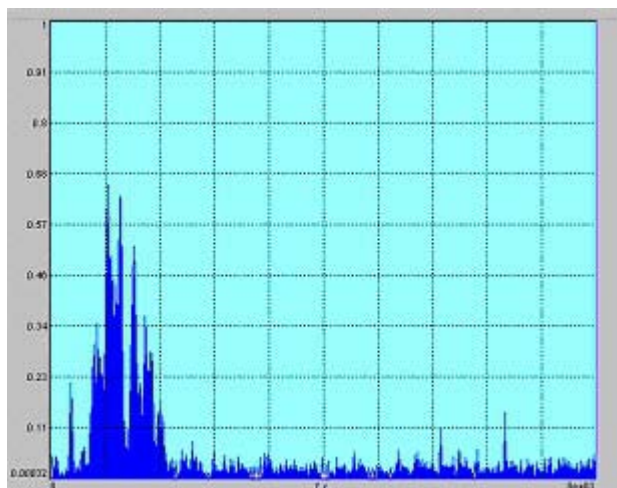


Рис. 5. Функция когерентности на экране коррелятора при наличии утечки.

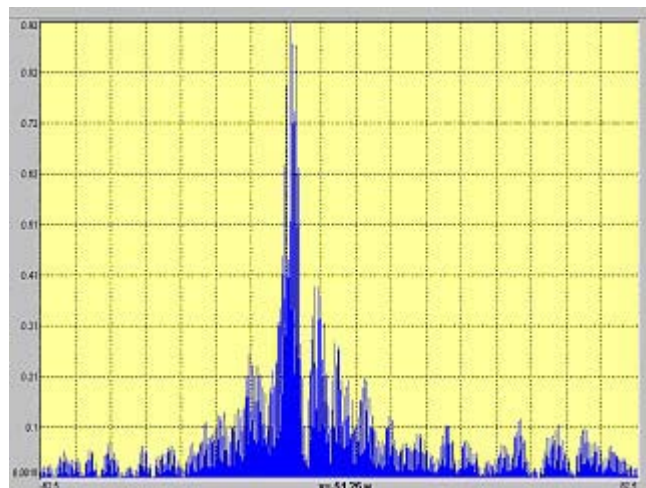


Рис. 6. Функция кросскорреляции на экране коррелятора при наличии утечки.

Акустический метод поиска утечки воды.

Наиболее широкое распространение получил акустический метод. Спектр акустического сигнала вытекающей воды при разных давлениях и размерах дефектов находится в диапазоне 100---3000 Гц. Для поиска утечки в [лаборатории ЛПУ](#) используются приборы с электронной (цифровой или аналоговой) фильтрацией входного сигнала ([акустические течеискатели](#)). Основное назначение фильтров - выделение полезного сигнала при его сильном зашумлении в городских условиях. Чем выше порядок фильтра, тем более качественно происходит подавление помех.



Основные технические характеристики таких приборов - уровень фильтрации, который изменяется в пределах второго до восьмого порядка, а также количества диапазонов фильтрации и наличие датчиков для различных грунтов - асфальт, трава, чистая земля, снег.

При использовании как акустического, так и корреляционного метода поиска утечек необходимо знать план трассы и место нахождения опор, отводов, изгибов труб, сужающихся участков, задвижек.

Тепловой метод поиска утечки воды.

Еще одним из способов поиска утечек является контроль распределения температуры по поверхности. Для контроля используются [тепловизоры](#) различных модификаций.

Основной характеристикой утечки, при контроле этим методом, служит изменение температуры на поверхности над теплотрассой. Перепады температур колеблются от долей градуса до десятков градусов.

Наиболее эффективно использовать комбинированные методы контроля. Это, в значительной степени, повышает достоверность обнаружения течи.

Чаще всего совместно используют акустический и тепловой методы контроля.

Оборудование [мобильной лаборатории ЛПУ](#) позволяет реализовать все указанные методы определения мест утечки воды, а также провести трассировку трубопровода и его диагностику.

Мобильная лаборатория ЛПУ может также использоваться как оперативный штаб при ликвидации аварий в системах водоснабжения.