

Принцип работы корреляционных течеискателей

Аварийное нарушение сплошности трубопровода. Корреляционные течеискатели

Самой распространенным типом аварий на трубопроводах тепловой сети, впрочем, как и на других трубопроводах, является нарушение целостности трубы и образование мест истечения теплоносителя – течей. Признаками возникновения аварий служат увеличение объема подпитки, заводнение тепловых и смотровых камер, каналов, подвалов домов, и другие. Установить факт наличия течи позволяют и результаты периодической тепловой инфракрасной аэросъемки. Для устранения аварии необходимо определить месторасположение течи.



Рис 1

В настоящее время еще значительное количество организаций эксплуатации тепловых сетей для обнаружения местоположения течи используют метод последовательных шурфовок, что, в силу своей малой эффективности, связано с определенными финансовыми и трудовыми затратами.

Экономически более выгодно, для обнаружения течей использовать специальные приборы – течеискатели, которые позволяют с заданной точностью определить местоположение течей и сократить количество шурфов.

Среди известных типов указанных приборов наибольшее распространение получили акустические течеискатели:

- шумофоны;
- корреляционные течеискатели.

Шумофоны.

В комплект этих приборов входят один или два специальных датчика (геофоны), которые размещаются на поверхности земли над трубопроводом. Геофон регистрирует и передает на блок оператора звуковые сигналы, распространяющиеся по грунту, в том числе шумы

от тока воды по трубе и истечения теплоносителя в месте аварии. Оператор на слух анализирует шум и, продвигаясь вдоль теплотрассы, определяет местоположение течи.

На блоке оператора ряда шумофонов предусмотрен вывод информации об уровне звуковых сигналов (шума), что позволяет более точно определить место аварии. Для этой же цели, в ряде разработок, используется и второй геофон, с помощью которого осуществляется сравнение уровня шума в различных точках теплотрассы. Не смотря на сравнительно низкую стоимость указанного типа приборов, шумофоны имеют значительный недостаток: «обнаруживаемость» аварий зависит от субъективной, «музыкальной» способности оператора распознать шум истечения воды на фоне городского шума и шума собственно тока воды по трубе. Некоторую помощь в выделении сигналов оказывают наборы фильтров, предусмотренные конструкцией прибора.

Корреляционные течеискатели.

Для обнаружения местоположения течи с помощью корреляционных течеискателей, на концах обследуемого участка, в точках доступа (тепловые и смотровые камеры, подвалы домов, шурф и т.п), на поверхность трубы устанавливаются два виброакустических датчика, которые фиксируют звуковые сигналы, распространяющиеся по воде внутри трубы. Сигналы от датчиков по кабельной линии связи или радиоканалу передаются на блок оператора, где осуществляется автоматическая их обработка.

В ходе обработки, поступающие акустические сигналы фильтруются для выделения значимых сигналов от течи на фоне различных шумов. Далее осуществляется корреляционный анализ, позволяющий определить местоположение источника сигнала. О местоположении течи судят по расположению максимума корреляционной функции. Рассмотрим принцип работы корреляционных течеискателей и показатели по обнаружению и определению местоположения течи несколько подробнее.

Основные принципы обнаружения течи.

Рассмотрим случай, когда на трубопровод в точка «В» осуществляется импульсное воздействие – удар (см. рис3а). Нам необходимо определить местоположение точки удара. Удар по трубе приводит к эмиссии акустических сигналов, которые распространяются, в частности, по воде. Для регистрации этих сигналов на концах размещены датчики «А» и «С».

К датчику «А» импульс сигнала придет через время:

$$t_1 = L_d / V_B$$

где: V_B – скорость распространения звука по воде.

L_d - расстояние от точки удара до датчика «А».

К датчику «С» импульс сигнала придет через время:

$$t_2 = (L - L_d) / V_B$$

Из этих результатов регистрации источника эмиссии (записи по двум каналам) нам необходимо определить разность прихода волн, т.к. момент «удара» нам неизвестен.

$$\tau_3 = t_2 - t_1 = (L - 2L_d) / V_B$$

Откуда, после умножения на V_B , имеем:

$$L_d = L/2 - V_B * \tau_3/2(1)$$

Следует отметить, что временной параметр разность прихода волн τ_3 отсчитывается от середины участка и имеет знаки \pm .

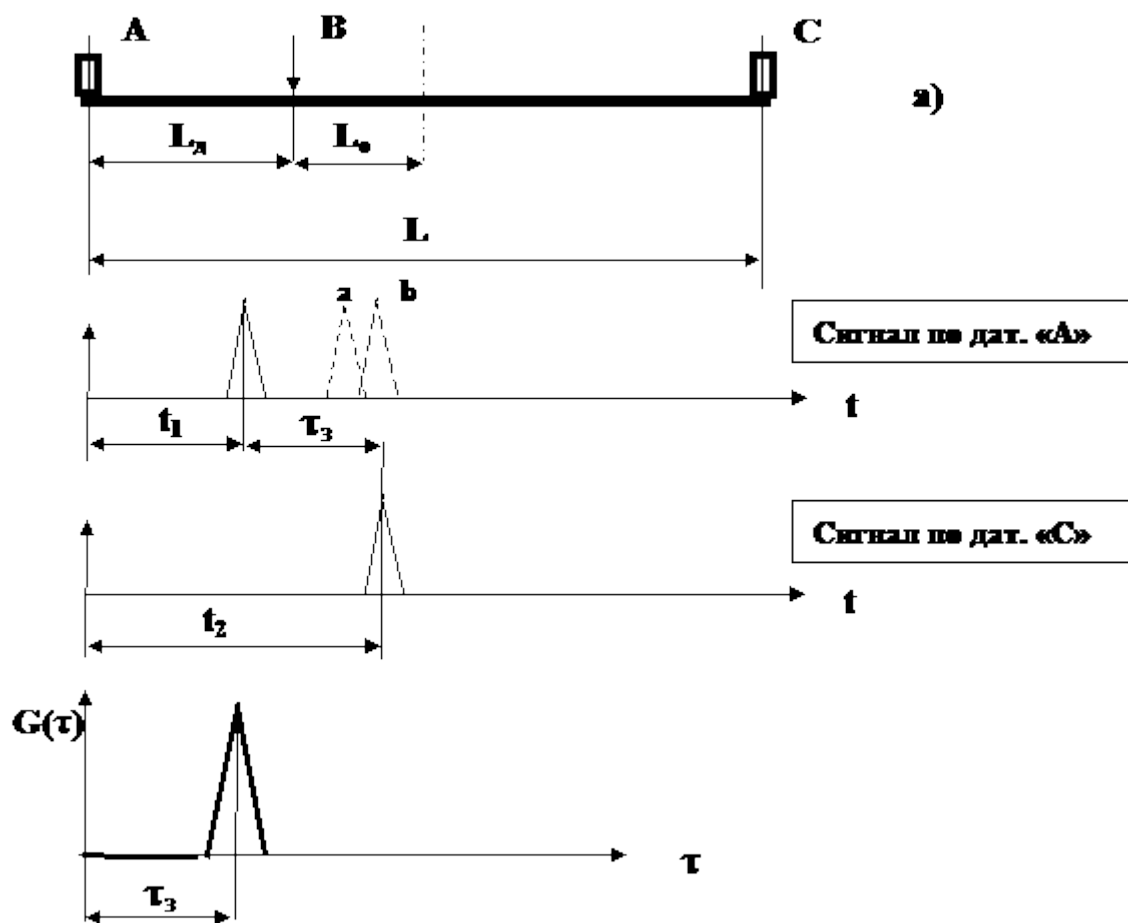


Рис.3 Принцип определения местоположения источника эмиссии.

Таким образом, для нахождения местоположения источника эмиссии (дефекта, течи) необходимо, по синхронным записям сигналов в двух точках, определить разность прихода сигналов (волн). Автоматизацию этого процесса обеспечивает использование функции взаимной корреляции:

$$G(\tau) = 1/T \int f(t) * g(t - \tau) dt$$

где: $G(\tau)$ – значение функции взаимной корреляции;

$f(t)$ – математическое представление записи по датчику «А»;

$g(t)$ - математическое представление записи по датчику «С».

Посмотрим, что дает процедура нахождения значений функции взаимной корреляции согласно формул. Будем строить график G от времени τ (см. рис.3).

В начальный момент времени $\tau=0$ берется суммирование произведений значений функций f и g для каждого момента времени t_i .

Для представлений на рис. записей имеем:

$$0*0+0*0+...+(0.2*0+0,5*0+....)+0*0+...+(0*0.2+...)+... = 0$$

Т.е. на графике $G(\tau)$ (рис.3) для $\tau=0$, $G(\tau)=0$.

Далее берется следующее значение $\tau = \tau_i$, что при расчете равносильно смещению во времени записи по одному датчику относительно аналогичной по другому на τ_i . В рассматриваемом примере, значение функции взаимной корреляции $G(\tau)$ будет равно нулю до тех пор, пока верхний график не начнет «наползать» на нижний (рис. положение а). По мере «наползания» значение $G(\tau)$ будет увеличиваться и достигнет максимума, когда импульс по датчику «А» будет точно над импульсом по датчику «С» (рис. позиция «b»).

Из рис 3. видно, что максимальное значение функции $G(\tau)$ имеет место при сдвиге верхнего графика на искомую величину времени задержки τ_z Течеискатели потому и называются «корреляционными», что в них использована приведенная математическая операция. Результаты поиска течи, у этих приборов, представлены в виде графика – коррелограммы, где по оси «Y» откладываются значения полученной функции взаимной корреляции, а по оси «X» время задержки прихода сигналов, преобразованное в расстояние от одного из датчиков. О наличии и местоположении течи судят по максимальному значению $G(\tau)$ на графике.

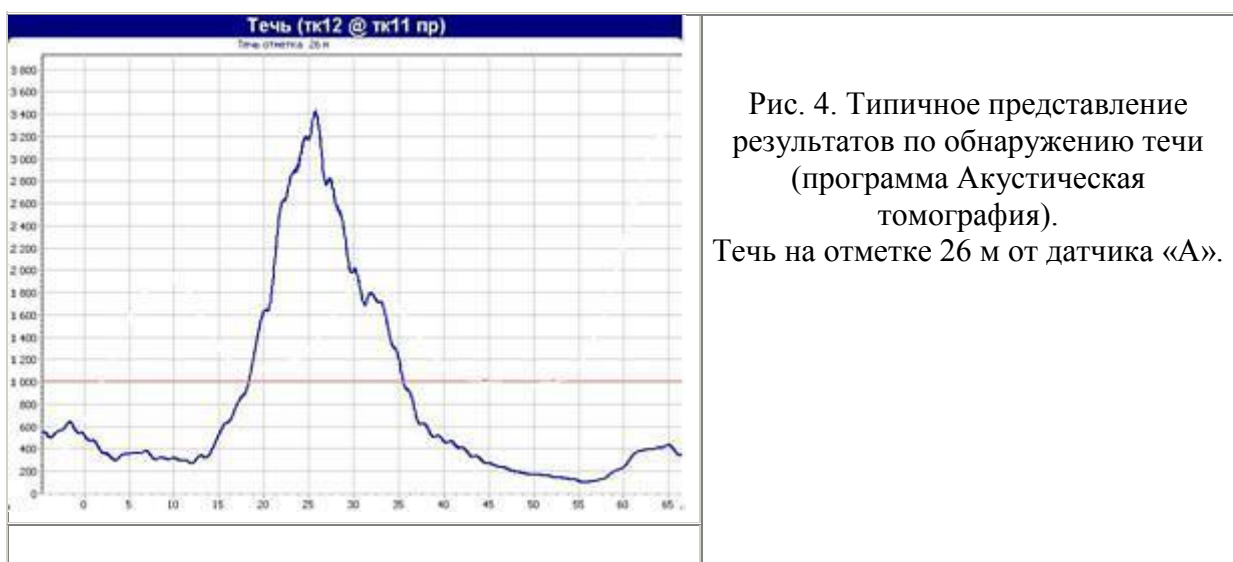


Рис. 4. Типичное представление результатов по обнаружению течи (программа Акустическая томография). Течь на отметке 26 м от датчика «А».

Показатели обнаружения течи.

Пользователю, применяющему корреляционный течеискатель, необходимо, чтобы прибор:

- зарегистрировал и выделил сигналы эмиссии, излучаемые течью;
- определил местоположение течи с тем, чтобы ее устранить, сделав один шурф.

Точность определения местоположения течи.

Для оценки точности определения местоположения дефекта (течи) рассмотрим выражение (1).

Первое слагаемое в правой части выражения включает расстояние по трубе между точками постановки датчиков L , деленное на два. Таким образом, если фактическая длина интервала между датчиками будет отличаться от введенного в расчет значения на ΔL , то

ошибка в определении местоположения дефекта будет $\Delta L/2$.

Как определить длину участка?

Длина берется из исполнительной документации на обследуемый участок тепловой сети. Однако, надеюсь нет необходимости доказывать, насколько часто исполнительная документация детально не отражает фактическую длину и даже профиль теплотрассы. Поэтому, при проведении работ по обнаружению течи, в первую очередь рекомендуется осуществить: **трассировку фактического местоположения трубопровода.**

Для поиска трубопровода подземной прокладки (трассировки) используются различные трассопоисковые приборы.

Проведя трассировку трубопровода, необходимо замерить расстояние между точками постановки датчиков.

В настоящее время для этой цели широко используются устройство мерное колесо. Однако, следует учесть, что кроме неровностей поверхности (наличие бугров и впадин на поверхности земли), по которой прокатывается колесо, на точность замеров влияет проскальзывание – на одной и той же трассе зимой получим меньшее значение, чем летом. Для более точного определения расстояний можно предложить использовать лазерный дальномер, стоимость которых несколько больше, чем мерных колес. В качестве вывода, можно сказать следующее: когда оператор на экране корреляционного течеискателя видит четкий сигнал от течи, но ошибается в определении ее местоположения на несколько метров (до 10м), причину следует искать в точности определения и задания расстояния между датчиками, а не в работе прибора. Кроме того, когда, выбирая корреляционный течеискатель, в документации на него Вы находите, что точность определения местоположения течи составляет сантиметры, следует иметь в виду: это технический параметр, а не эксплуатационный.

Обнаруживаемость течи.

Необходимым условием того, чтобы течь была обнаружена, является достаточный уровень энергии акустического сигнала от дефекта, распространяющегося по воде на расстоянии наиболее удаленного датчика. Уровень энергии сигнала в первую очередь определяется энергией источника эмиссии – течью.

Кузнецов Н.С. [] показал, что течь генерирует три типа волн, энергия эмиссии основной из них пропорциональна перепаду давления (труба - свободное пространство) и площади сечения отверстия водоизлива:

$$W \sim U^8 d^2 \sim \Delta P^4 S$$

где : U – скорость истечения воды;

d и S диаметр и соответствующая площадь отверстия;

ΔP – перепад давления: труба - свободное пространство.

По мере увеличения площади отверстия водоизлива энергия сигнала эмиссии возрастает (см. рис.4). При определенном размере течи (S_0) энергия сигнала (W_0) становится достаточной для регистрации используемым типом корреляционного течеискателя. Т.е. возможность обнаружения течей малой интенсивностью водоизлива в значительной степени определяется техническими параметрами прибора, и, в частности, чувствительностью регистрирующего тракта.

По мере увеличения размера течи энергия сигнала первоначально увеличивается (см. рис.5). Однако, указанное увеличение (переход течи в категорию разрыв) сопровождается уменьшением величины внутреннего давления в трубе, весьма сильно приводящего к снижению энергии сигнала эмиссии.

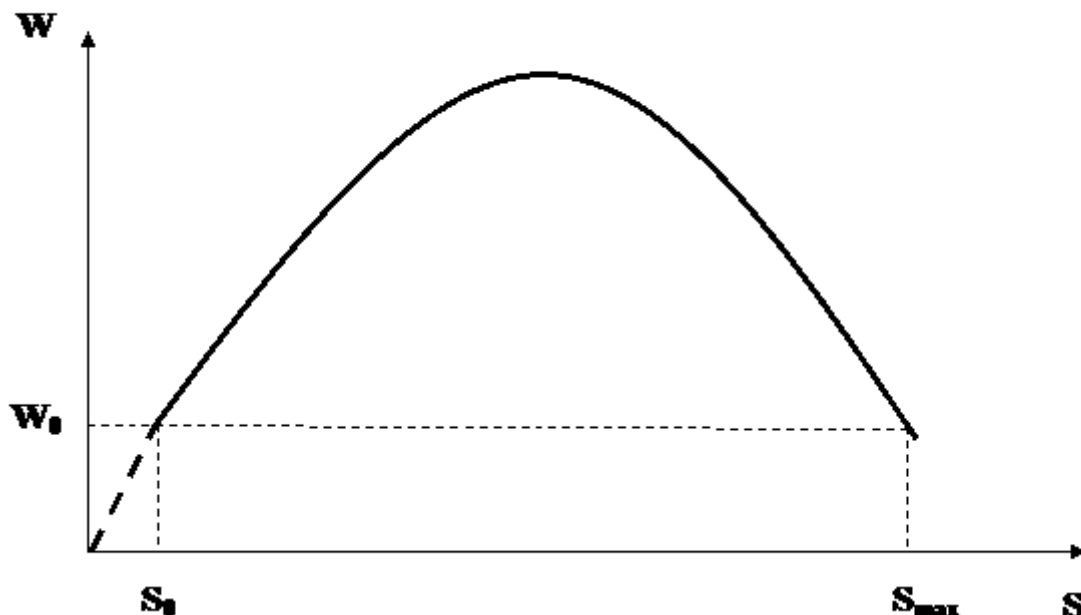


Рис.5

При определенных размерах разрыва (S_{max}) энергия сигнала от него становится недостаточной для регистрации и обнаружения дефекта. Таким образом, имеются объективные трудности в обнаружении как небольших по размеру течей, так и разрывов на трубе корреляционными течеискателями. Параметр «перепад давления» обуславливает сложности при обнаружении течей когда струя имеет «стесненный» характер выхода в свободное пространство.



Рис 6. Снижение энергии сигнала от течи за счет «стесненного» выхода через теплоизоляцию.



Рис 7. Отсутствие свободного выхода струи. Течь прибором не обнаружена.

По этой же причине практически невозможно обнаружить корреляционным течеискателем место аварии на трубах с ППУ изоляцией – система труба в трубе межтрубное пространство заполнено пенополиуританом, что приводит к возникновению значительного давления в межтрубном пространстве и, следовательно, малой энергии сигнала от течи.

Несколько особенностей при обнаружении течей.

- Рассматривая выражение (1) с позиции точности определения местоположения течи, обратите внимание на второе слагаемое, содержащее множитель $Vв$ – скорость распространения звука по воде.

Указанная скорость зависит от диаметра трубопровода – чем меньше диаметр, тем больше скорость.

При канальной прокладке трубопровода, в ряде случаев канал затоплен водой. С точки зрения обнаружения течи, в этом случае существует два волновода, по которым распространяются сигналы от течи с разной скоростью – внутри трубы и снаружи. В точках регистрации эти сигналы складываются, что приводит к «размазыванию» пика на коррелограмме, по которому определяется местоположение течи (см. рис.7)

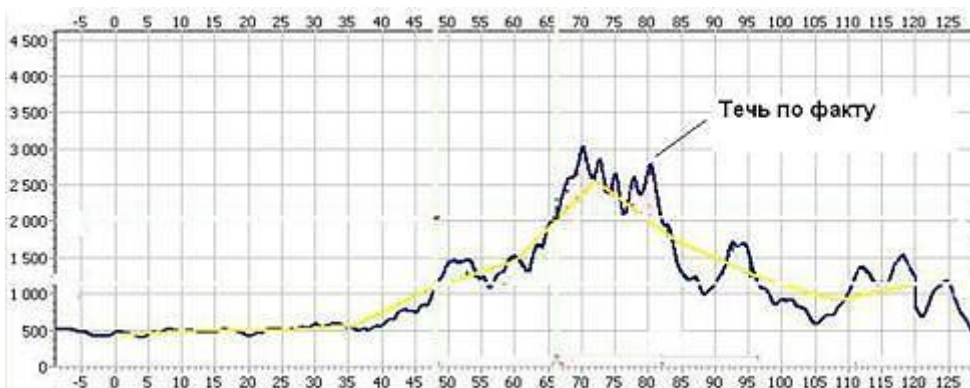


Рис.7

Рекомендуется осуществлять работы по откачиванию воды из канала. По практике, допустимым является затопление трубы не выше 1/3 от диаметра.