

УДК 001.891.5

В.А. Строганов, В.Н. Хоролич*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, д.33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: vstroganov@mail.ru***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ УТЕЧЕК ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

Статья посвящена проблеме проведения экспериментальных исследований сигналов утечек трубопроводов. Предложена схема экспериментальной установки, методика измерения и первичного анализа сигналов.

Ключевые слова: *утечки трубопроводов, акустические сигналы, эксперимент.*

Задача своевременного обнаружения и устранения утечек подземных трубопроводов имеет несомненную практическую ценность. Утечки воды имеются во всех, без исключения, водопроводных сетях. В развитых странах на хорошо ухоженных водопроводах потери составляют не выше 10 % от общего объема воды, подаваемой в городскую сеть. Так, среднегодовые потери воды в водопроводной сети Германии не превышают 8 %. Потери в водопроводной сети г. Цюриха (Швейцария) с населением около 400 тыс. чел. составляют от 5,78 до 6,13 млн. м³ в год, т.е. (7,7 – 8,3) % от годовой подачи воды потребителям, что в денежном эквиваленте составляет около 4 млн. долларов США в год [1]. В развивающихся странах, к которым относится и Украина, потери воды за счет утечек достигают 40 % [2].

Наличие поврежденных трубопроводов приводит не только к материальным потерям. Имеется непосредственная опасность попадания грунтовых вод и инородных тел в питьевую воду, что может вызвать массовые заболевания населения. В связи с этим проблема своевременного обнаружения мест утечек водопроводов с последующей их ликвидацией является особенно актуальной. Краткая классификация основных подходов к поиску утечек подземных трубопроводов показана на рисунке 1.

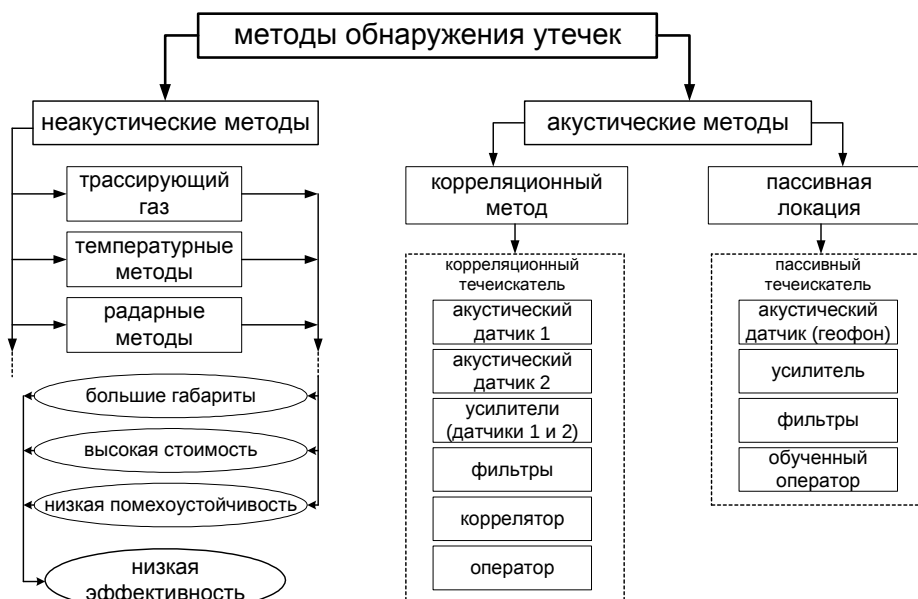


Рисунок 1 – Методы поиска утечек

Одним из перспективных подходов к обнаружению и локализации мест утечек является анализ акустических сигналов, излучаемых движущейся по трубопроводу жидкостью. При возникновении утечки к фоновому сигналу трубопровода добавляется сигнал, обусловленный акустической эмиссией жидкости, вытекающей из отверстия. Тогда обнаружение утечки сводится к классической задаче классификации сигналов и включает в себя ряд подзадач, представляющих как практический, так и научный интерес.

Анализ эффективности разрабатываемых методов обнаружения утечек должен включать в себя исследования реальных сигналов, полученных для повреждений с известными параметрами (форма и размер отверстий утечек, диаметр трубы, давление и скорость движения воды в трубе, тип грунта, расстояние от места утечки и т.п.). Для получения таких данных необходимо проведение натурных

экспериментов. Кроме того, анализ записей реальных сигналов утечек необходим для уточнения значений эмпирических параметров аналитических и полуэмпирических моделей акустических сигналов[3]. Как видно из вышесказанного, разработка методики получения и первичной обработки акустических сигналов утечек представляет значительный практический интерес.

Для получения акустических сигналов поврежденного трубопровода была спроектирована и реализована соответствующая экспериментальная установка. Обобщенная схема проведения эксперимента показана на рисунке 2.

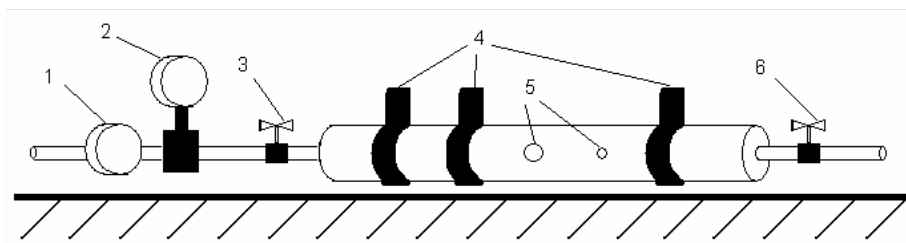


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

Основным элементом данной схемы является водопроводная труба диаметром 50 мм и длиной 10 м. На вход трубы поступает жидкость (вода). Установленный на входе трубы манометр 2 позволяет измерять давление воды в трубе. Для измерения расхода воды в трубе используется водометр 1. Данные о расходе воды могут использоваться для расчета скорости движения жидкости. Давление и скорость движения воды регулируется с помощью вентиля 3 на входе и вентиля 6 на выходе трубы.

Для имитации утечек в стенке трубы вырезан ряд отверстий 5 различной формы. Отверстия имеют размер от 1 до 5 мм и расположены на расстоянии 1 м друг от друга. Размер и форма отверстий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры отверстий

№ отверстия	Форма отверстия
1	Круглое, диаметр 1,5 мм
2	Круглое, диаметр 2,5 мм
3	Круглое, диаметр 5,5 мм
4	Прямоугольная прорезь, 4×14 мм
5	Неправильной формы, 5×5 мм
6	Круглое, диаметр 4 мм
7	Круглое, диаметр 7 мм
8	Круглое, диаметр 7 мм
9	Круглое, диаметр 6 мм
10	Круглое, диаметр 2 мм

В исходном состоянии все отверстия закрыты с помощью хомутов 4., что соответствует неповрежденному трубопроводу. При проведении эксперимента открывается необходимое отверстие. Открытие нескольких отверстий одновременно позволяет имитировать сложные повреждения трубопровода.

Экспериментальная установка предполагает два различных режима работы. В первом случае выходной вентиль 6 открыт. При этом исследуются процессы, возникающие при проточном движении воды. В этом случае возможно исследование шума трубы при отсутствии утечек. При открытии отверстий, имитирующих утечки, появляется возможность исследования суммарных сигналов (утечка + фоновый шум трубы). Недостатком такого режима работы является невозможность обеспечить достаточно высокое давление жидкости в трубе. Кроме того, затрудняется определение скорости выхода жидкости и давления непосредственно в месте утечки.

Второй режим работы экспериментальной установки предполагает, что выходной вентиль 6 закрыт. В этом случае вся жидкость, поступающая на вход трубы (после её заполнения) выходит непосредственно через отверстие, имитирующее утечку. Такой подход позволяет точно определить скорость выхода воды в месте утечки, а также давление выходящей струи. Кроме того, появляется возможность с помощью входного вентиля 3 регулировать давление и скорость движения воды в

широком диапазоне. Такой подход не позволяет исследовать сигналы, формируемые протекающей по трубе жидкостью при отсутствии утечек. Но при этом появляется возможность анализа сигналов, возникающих именно в результате утечки, без посторонних фоновых сигналов.

В качестве преобразователя колебаний трубы (или грунта) в электрический сигнал используется акустический датчик АД-200. Основные параметры датчика приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Параметры датчика АД-200

Параметр	Значение
Чувствительность, В/г	5
Габаритные размеры прибора, не более, мм	105×75
Масса, не более, кг	1,5

Для измерения сигналов датчик устанавливается непосредственно на трубу или на грунт на некотором расстоянии от трубы и подключается к портативному компьютеру. Для преобразования аналогового сигнала датчика в цифровой используется АЦП встроенный в звуковую карту компьютера.

Запись сигналов производится с помощью звукового редактора CoolEdit Pro 2.0, позволяющего контролировать уровень записи, а также выполнять предварительный спектральный анализ записываемых сигналов.

Следует отметить, что на параметры исследуемых акустических сигналов может влиять целый ряд факторов. Поэтому в ходе эксперимента кроме собственно сигналов трубопровода фиксировались также температура воздуха, состояние атмосферы, наличие/отсутствие ветра и посторонних шумов.

В качестве примера приведем результаты измерения сигналов с различными значениями давления, скорости движения жидкости.

На первом этапе измерений все отверстия были закрыты, и анализировался фоновый сигнал трубы. На рисунке 3, а приведен график спектральной плотности мощности сигнала, возникающего в результате движения воды по трубе диаметром 50 мм под давлением 2 атм.

При открытии отверстия к фоновому сигналу трубы добавляются составляющие, обусловленные процессами акустической эмиссии жидкости. Рисунок 3, б иллюстрирует изменение спектральной плотности мощности сигнала.

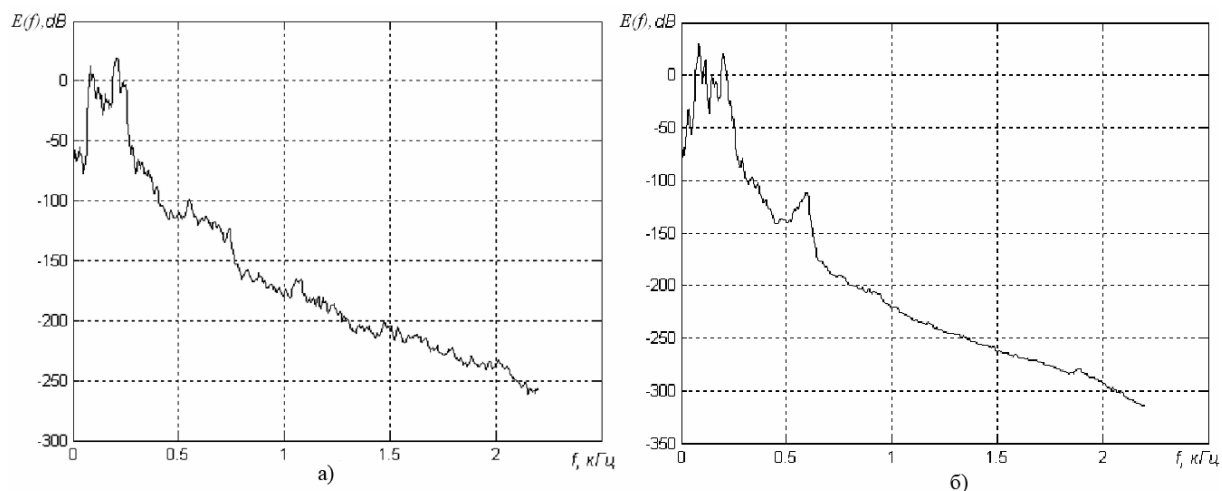


Рисунок 3 – Спектральная плотность мощности акустического сигнала трубопровода: а) без утечки, б) с утечкой

На рисунке 4 показана спектральная плотность мощности сигнала, полученного при открытом отверстии и закрытом вентиле 6. Вся жидкость, поступающая на вход трубы, выходит через исследуемое отверстие. Это позволяет проанализировать сигнал, возникающий в результате эмиссии, минимизировав влияние фонового шума трубы. Давление жидкости в трубе составляет 4,2 атм.

Особенностью рассмотренной методики экспериментального исследования акустических сигналов утечек является то, что выходящая струя жидкости является свободной (поступает непосредственно в воздух). Это, с одной стороны, позволяет эффективно исследовать характер акустической эмиссии жидкости, вытекающей под давлением из трубопровода, но с другой – не всегда точно отражает характер реальной утечки, представляющей собой затопленную струю. В формировании сигнала утечки реального

подземного трубопровода участвует также шум, возникающий при взаимодействии жидкости с грунтом, окружающим трубопровод.

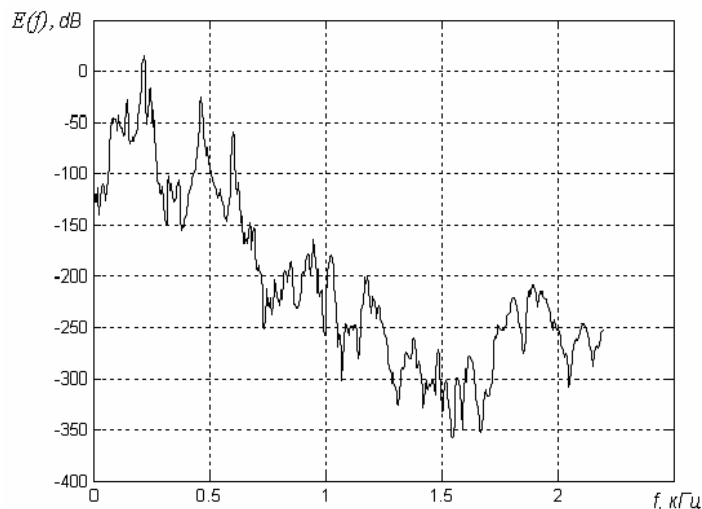


Рисунок 4 – Спектральная плотность мощности сигнала утечки

Направление дальнейшей работы видится по пути усложнения экспериментальной установки, которое позволило бы в лабораторных условиях моделировать процессы, возникающие при вымывании вытекающей жидкостью полостей в грунте. Кроме того, интерес представляет анализ частотных характеристик грунтов различных типов и их влияния на исследуемые сигналы.

Бibliографический список

1. Brechbuehl M. Beitrag zur akustischen Ortung von Leckstellen / M. Brechbuehl. — Zuerich: Diss.ETH, 1988. — 182 s.
2. Разработка методов повышения эффективности обнаружения и локализации мест протекания трубопроводов: отчет о НИР (заключительный) / Севастоп. гос. техн. ун-т; рук. Чернега В.С. — Севастополь, 2004. — 145 с. — ГР 0103V0001422.
3. Хоролич В.М. Математична модель джерела акустичних сигналів в місцях пошкодження трубопроводів / В.Н. Хоролич // Системний аналіз та інформаційні технології. — К., 2003. — С. 119–120.

Поступила в редакцию 15.06.2009 г.