

14. «Инфракар» [Электронный ресурс] / Каталог продукции. – Режим доступа: www.infracar.ru
 15. Приміський, В. П. Сучасні оптико-електронні схеми інфрачервоних газоаналізаторів [Текст] / В. П. Приміський // Журнал «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології». ВНТУ. – 2005. – № 1 (9). – С. 77–81.

Виконано аналіз підходів до пошуку витоків підземних трубопроводів. Введено поняття акустичного портрета підземного трубопроводу водопровідної мережі. В якості акустичних портретів трубопроводу запропоновано використовувати параметри вейвлет-нейронної мережі, апроксимуючої акустичні сигнали трубопроводу. Розроблено метод локалізації місць витоків з підземної водопровідної мережі шляхом зіставлення акустичних портретів трубопроводів. Запропоновано критерій для зіставлення акустичних портретів

Ключові слова: витоків трубопроводів, порівняння сигналів, вейвлет-нейронні мережі, акустичні портрети трубопроводів

Выполнен анализ подходов к поиску утечек подземных трубопроводов. Введено понятие акустического портрета подземного трубопровода водопроводной сети. В качестве акустических портретов трубопровода предложено использовать параметры вейвлет-нейронной сети, аппроксимирующей акустические сигналы трубопровода. Разработан метод локализации мест утечек из подземной водопроводной сети путем сопоставления акустических портретов трубопроводов. Предложен критерий для сопоставления акустических портретов

Ключевые слова: утечки трубопроводов, сопоставление сигналов, вейвлет-нейронные сети, акустические портреты трубопроводов

УДК 004.891.3

ЛОКАЛИЗАЦИЯ УТЕЧЕК ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ПОРТРЕТОВ

В. А. Строганов
 Кафедра информационных систем
 Севастопольский национальный
 технический университет
 ул. Университетская, 33,
 г. Севастополь
 E-mail: vstroganov@mail.ru

1. Введение

Актуальность проблемы своевременного обнаружения и устранения утечек из подземных трубопроводов городской водопроводной сети не вызывает сомнений. Значительная степень износа трубопроводов приводит к их регулярному повреждению. Потери воды за счет утечек в подземных трубопроводах составляют от (7–10) % развитых странах на хорошо ухоженных водопроводах [1] до 40 % [2], что приводит к значительным финансовым расходам. Поэтому задача своевременного обнаружения и устранения утечек подземных трубопроводов крайне важна с прикладной точки зрения.

2. Анализ литературных источников

Для поиска утечек трубопроводов существует множество подходов и методов. Условно их можно разделить на две группы:

- акустические, т. е. основанные на анализе акустических сигналов, возникающих при прохождении жидкости по трубопроводу;
- неакустические, основанные на анализе температурных изменений, использовании трассирующего газа и проч.

Наиболее перспективными представляются методы поиска и локализации утечек подземных трубопроводов, основанные на анализе акустических сигналов, которые возникают в местах вытекания жидкости. Решение о наличии или отсутствии утечки принимается на основе анализа сигнала, считанного с поверхности грунта над местом прокладки трубопровода [2], либо непосредственно со стенки трубопровода [3].

В случае повреждения трубопровода к акустическим сигналам, эмитируемым собственно трубопроводом, добавляется звук утечки – результат акустической эмиссии вытекающей жидкости. Как показано в [2], информации, содержащейся в таких суммарных сигналах, достаточно для классификации сигналов с помощью искусственной нейронной сети (ИНС), т. е. для принятия решения о наличии или отсутствии утечки. Акустические сигналы трубопровода подвергаются воздействию внешних шумов, что может негативно влиять на эффективность обнаружения утечек и приводит к необходимости предварительной обработки сигналов [4, 5].

Проанализировав текущее положение дел в области поиска утечек трубопроводов, можно выделить следующие основные тенденции:

- получают дальнейшее развитие известные ранее методы поиска и локализации утечек [3, 4];

– предпринимаются попытки применить для локализации утечек принципы, заимствованные из других областей (локационный рефлектометрический метод [6], принцип действия интерферометра [5] и т. п.);

– продолжаются работы по исследованию физической природы и характеристик сигналов утечек и внешних шумов [4], в том числе исследуются особенности сигналов утечек в современных пластиковых трубопроводах [7].

Таким образом, проблема построения методов поиска и локализации утечек из трубопроводов с одной стороны не теряет своей актуальности и является предметом всё новых и новых исследований и прикладных разработок, а с другой стороны – так и остается нерешенной, что объясняется как сложностью задачи, так и большим разнообразием её условий.

3. Цель и задачи исследования

В [2] был предложен подход к обнаружению и локализации утечек трубопроводов на основе классификации акустических сигналов. Основной проблемой, возникающей при использовании такого подхода, является необходимость трудоёмкого обучения ИНС на больших наборах данных. Решение этой задачи в общем виде представляется крайне затруднительным.

Целью данной работы является создание метода локализации мест утечек, основанного на сопоставлении акустических портретов трубопроводов, свободного от указанных недостатков.

Для достижения целей работы необходимо решить две основные задачи:

- разработать метод получения акустического портрета трубопровода на основе акустического сигнала;
- разработать метод и критерий сопоставления акустических портретов.

4. Локализация мест утечек подземных трубопроводов путем сопоставления акустических портретов

Общий алгоритм локализации мест утечек подземных трубопроводов включает следующие шаги:

- 1) получение и сохранение акустических портретов исправного трубопровода. Под акустическим портретом p понимается вектор параметров, вычисленных на основе записи акустического сигнала трубопровода. Акустический портрет p_i характеризует состояние трубопровода в данной точке x_i ;
- 2) получение акустических портретов трубопровода в районе предполагаемого места утечки;
- 3) локализация места утечки на основе сопоставления акустических портретов.

4. 1. Аппроксимация сигналов утечек трубопроводов вейвлет-нейронными сетями

Акустический портрет, как указано выше, представляет собой набор параметров, полученных на основе акустического сигнала. Т.е. речь идет об аппроксимации сигнала с помощью некоторой модели и дальнейшем использовании параметров этой модели. В качестве модели будем использовать вейвлет-нейронную сеть [8, 9].

ВНС представляет собой трехслойный перцептрон; в качестве функций активации нейронов скрытого слоя используются вейвлет-функции [10]. Выходной сигнал ВНС определяется выражением

$$\hat{y}(x) = \sum_{i=1}^K (w_i \psi(a_i(x - b_i))), \tag{1}$$

где $\psi(x)$ – вейвлет-функция [10], a_i – параметры масштабирования, b_i – параметры сдвига, w_i – весовые коэффициенты, K – количество нейронов в скрытом слое сети. Схематично вейвлет-нейронная сеть показана на рис. 1.

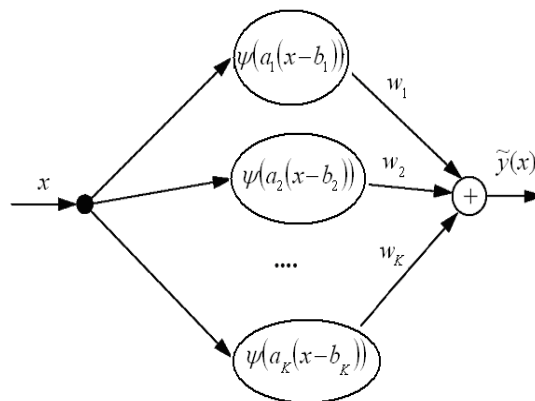


Рис. 1. Вейвлет-нейронная сеть

Ниже приведены примеры аппроксимации сигналов трубопровода с помощью ВНС. Методика получения сигналов подробно описана в [11]. Для аппроксимации сигналов используется ВНС на основе вейвлетов Морле [10]. Скрытый слой включает 50 нейронов. В качестве метода инициализации сети используется рассмотренный в [12] метод выбора на основе остаточного сигнала с учетом центральных частот вейвлетов.

На рис. 2 показаны коэффициенты масштабирования a нейронов скрытого слоя, полученные в результате инициализации ВНС. Аппроксимируется сигнал, получаемый при закрытом отверстии, т.е. при отсутствии утечки.

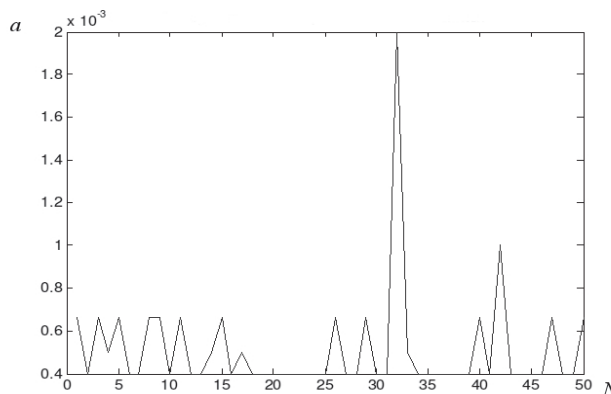


Рис. 2. Коэффициенты масштабирования a для ВНС в зависимости от номера узла N , утечка отсутствует

На рис. 3, 4 показано изменение коэффициентов масштабирования a при открытии круглого отверстия диаметром 2,5 мм и постепенном увеличении давления жидкости в трубе.

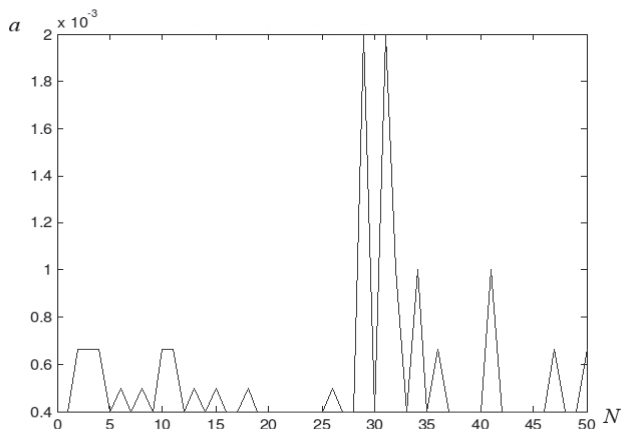


Рис. 3. Коэффициенты масштабирования a для ВНС в зависимости от номера узла N , утечка есть, давление 2 атм

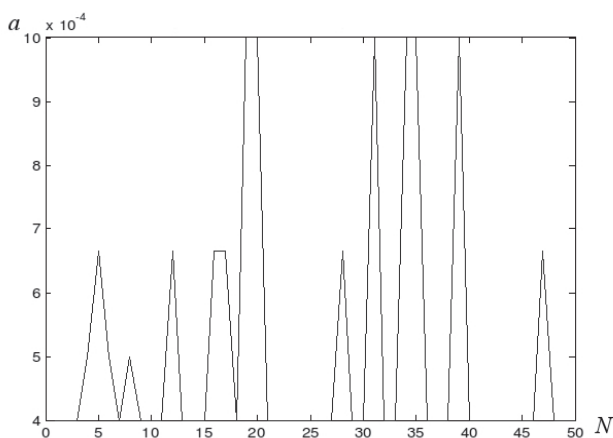


Рис. 4. Коэффициенты масштабирования a для ВНС в зависимости от номера узла N , утечка есть, давление 2,4 атм

Как видно, появление утечки характеризуется заметным изменением коэффициентов масштабирования вейвлет-функций в нейронах скрытого слоя ВНС. Это позволяет утверждать, что параметры ВНС, аппроксимирующей акустический сигнал, излучаемый при протекании жидкости по трубопроводу, характеризуют состояние трубы и могут быть использованы в качестве признаков для последующей классификации сигналов.

На основе параметров ВНС строятся акустические портреты подземных трубопроводов.

4. 2. Метод локализации утечки на основе сопоставления акустических портретов

Пусть имеется участок трубопровода между точками x_1 и x_N . Будем рассматривать его как упорядоченное множество точек измерения сигнала: (x_1, x_2, \dots, x_N) . Каждой точке x_i соответствует акустический портрет p_i , определяемый как совокупность векторов параметров (a, b, w) ВНС, аппроксимирующей сигнал в

данной точке. Тогда состояние участка трубопровода характеризуется множеством акустических портретов $P = (p_1, \dots, p_N)$.

В процессе эксплуатации, естественного износа или повреждения трубопровода его акустические портреты изменяются. При возникновении утечки происходит существенное изменение характера сигнала и, следовательно, акустического портрета трубопровода. Тогда задача локализации утечки подземного трубопровода формулируется следующим образом: дан акустический портрет участка трубопровода до повреждения $P_0 = (p_{01}, \dots, p_{0N})$ как множество акустических портретов в точках (x_1, x_2, \dots, x_N) . Получен акустический портрет $P_1 = (p_{11}, \dots, p_{1N})$ участка после повреждения. Необходимо определить точку x_i , ближайшую к месту утечки.

Введем критерий $D\{p_{0i}, p_{1i}\}$, характеризующий изменение акустического портрета в точке x_i . Тогда точка утечки определяется исходя из выражения

$$x_i : d_i = \max D\{p_{0i}, p_{1i}\}. \tag{2}$$

Выражение (2) предполагает, что в качестве $D\{p_{0i}, p_{1i}\}$ могут использоваться критерии различного вида. В работе использован критерий, основанный на вычислении расстояния между векторами коэффициентов a, b, w ВНС:

$$D\{p_{0i}, p_{1i}\} = k_a \|\bar{a}_0 - \bar{a}_1\| + k_b \|\bar{b}_0 - \bar{b}_1\| + k_w \|\bar{w}_0 - \bar{w}_1\|, \tag{3}$$

где $\bar{a}_0, \bar{b}_0, \bar{w}_0$ — элементы акустического портрета p_{0i} , $\bar{a}_1, \bar{b}_1, \bar{w}_1$ — элементы акустического портрета p_{1i} , k_a, k_b, k_w — весовые коэффициенты.

5. Выводы

В работе предложен метод локализации утечек подземных трубопроводов на основе сопоставления акустических портретов. В качестве акустических портретов предложено использовать параметры вейвлет-нейронной сети, аппроксимирующей акустические сигналы трубопроводов. Предложенный метод характеризуется значительно меньшей вычислительной сложностью по сравнению с предложенным ранее методом классификации акустических сигналов трубопроводов с помощью искусственных нейронных сетей, однако требует некоторого изменения всей информационной технологии поиска утечек.

Направление дальнейшей работы видится в разработке и исследовании критериев $D\{p_{0i}, p_{1i}\}$ различного вида, более эффективных по сравнению с критерием (3). С прикладной же точки зрения, задача программной реализации предложенного метода должна решаться совместно с задачей централизованного хранения схем закладки трубопроводов.

Литература

1. Brechbuehl, M. Beitrag zur akustischen Ortung von Leckstellen [Text] / M. Brechbuehl. – Zuerich: Diss. ETH, 1988. – 182 p. doi: 10.3929/ethz-a-000480940

2. Строганов, В. А. Классификация сигналов утечек подземных трубопроводов с помощью искусственных нейронных сетей [Текст] / В. А. Строганов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 6, № 4 (60). – С. 33–36.
3. Wang, Q. Design of a Vibration-Based Pipeline Leak Detection System [Text] / Q. Wang, K. X. Hong, X. X. Chen, H. Huang // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 530–531. – P. 266–272. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.530-531.266
4. Zhang, J. R. Research on Water Pipeline Leak Location [Text] / J. R. Zhang, D. H. Nie, C. Wang // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 226–228. – P. 2143–2146. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.226-228.2143
5. Hu, Z. The Signal Processing Method of Mixed Interference Distributed Fiber-Optic Long-Distance Pipeline Leaks Detection System [Text] / Z. Hu, Q. Yang, Q. Wang, R. Zhang // Proceedings of 2013 Chinese Intelligent Automation Conference. Intelligent Information Processing, 2013. – P. 449–458. doi: 10.1007/978-3-642-38466-0_50
6. Cataldo, A. A New Method for Detecting Leaks in Underground Water Pipelines [Text] / A. Cataldo, G. Cannazza, E. De Benedetto, N. Giaquinto // IEEE Sensors Journal. – 2012. – Vol. 12, Issue 6. – P. 1660 – 1667. doi: 10.1109/JSEN.2011.2176484
7. Almeida, F. The Dynamic Behaviour of a Buried Water Pipe and its Effect on Leak Location Using Acoustic Methods [Text] / F. Almeida, P. Joseph, M. Brennan, S. Whitfield, S. Dray // Key Engineering Materials. – 2013. – Vol. 569–570. – P. 1194–1201. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.569-570.1194
8. Zhang, Q. Using Wavelet Networks in Nonparametric Estimation [Text] / Q. Zhang // IEEE Transactions on Neural Networks. – 1998. – Vol. 8, Issue 2. – P. 227–236. doi: 10.1109/72.557660
9. Alexandridis, A. K. Wavelet Neural Networks: A Practical Guide [Text] / A. K. Alexandridis, A. D. Zapranis // Neural Networks. – 2013. – Vol. 42, pp. 1–27. DOI: 10.1016/j.neunet.2013.01.008
10. Mallat S. A wavelet tour of signal processing [Text] / S. Mallat. – San Diego: Academic Press, 2001. – 620 p.
11. Строганов, В. А. Экспериментальное исследование сигналов утечек подземных трубопроводов [Текст] : сб. науч. тр. / В. А. Строганов, В. Н. Хоролич // Вестник СевНТУ. Сер. Информатика, электроника, связь. – 2010. – Вып. 101. – С. 29–32.
12. Строганов, В. А. Использование центральных частот вейвлетов при инициализации вейвлет-нейронных сетей [Текст] : сб. науч. тр. / В. А. Строганов // Вестн. СевНТУ. Сер. Информатика, электроника, связь. – 2010. – Вып. 101. – С. 33–36.