

Структурный мониторинг водопроводных сетей на основе пьезокерамических датчиков

О.В. Соколовская, В.А. Зибров, В.А. Курнаков

В России большая сеть стареющих водопроводных сетей, средний возраст которых составляет более чем 45-55 лет (рис. 1). Размер, стоимость и сложность современных систем водоснабжения накладывают определенные ограничения на их быструю замену. Многофазные процессы, вызванные статическими факторами (транспортируемая вода, вид прокладки водопровода и т.п.) и динамическими факторами (климатические условия, зоны повышенного давления и т.д.) приводят к ухудшению структуры водопроводных сетей и соответственно возрастающим количеством отказов.

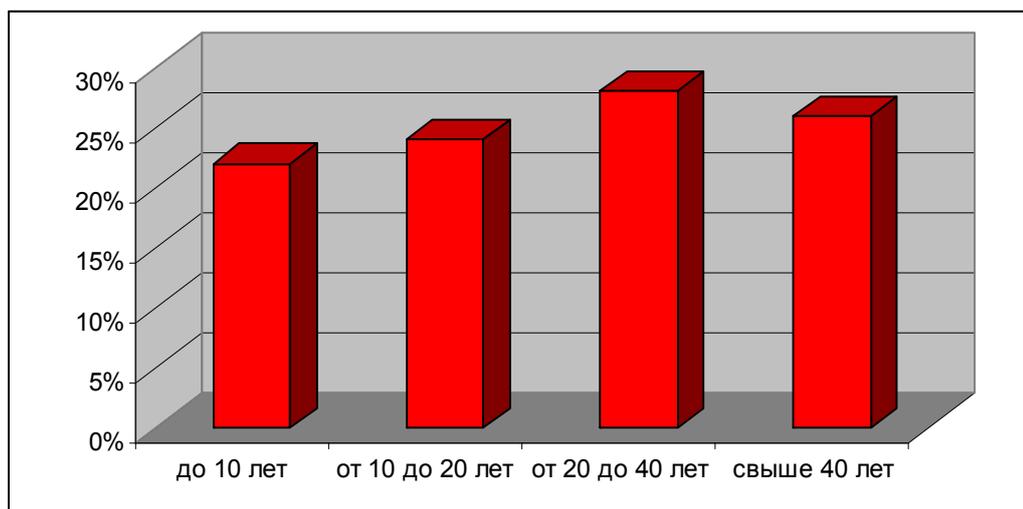


Рис. 1. – Возраст водопроводных сетей

Серьезной проблемой, в водопроводных сетях, является медленное накопление органических и неорганических веществ внутри трубы в течение длительного времени. Такое накопление нежелательного материала появляется одновременно с коррозией трубы. Отсутствие надежной наружной и внутренней гидроизоляции, агрессивность грунтовых вод, грунта и транспортируемой воды, наличие блуждающих токов, приводит к значительной коррозии металлических труб, и к снижению фактического срока их службы. Продукты коррозии металлических водопроводов,

состоящие, в основном, из окислов железа, отлагаются на внутренней поверхности труб магистральной водопроводной сети. Слой отложений в трубах достигает порядка 15мм. В результате сечение трубы уменьшается до 50% [1,4,5,6]. Интенсивная коррозия металлических водопроводов в результате появления в воде растворенных окислов железа приводит к ухудшению качества воды в системе.

Целью статьи является определение соотношений и зависимостей между параметрами ультразвукового импульса и структурой водопроводной трубы.

Устройства структурного мониторинга водопроводных сетей, на основе пьезокерамических датчиков [7,8,9,10], могут быть размещены как внутри трубы (а), так и на внешней оболочке (б) трубы (рис.2).

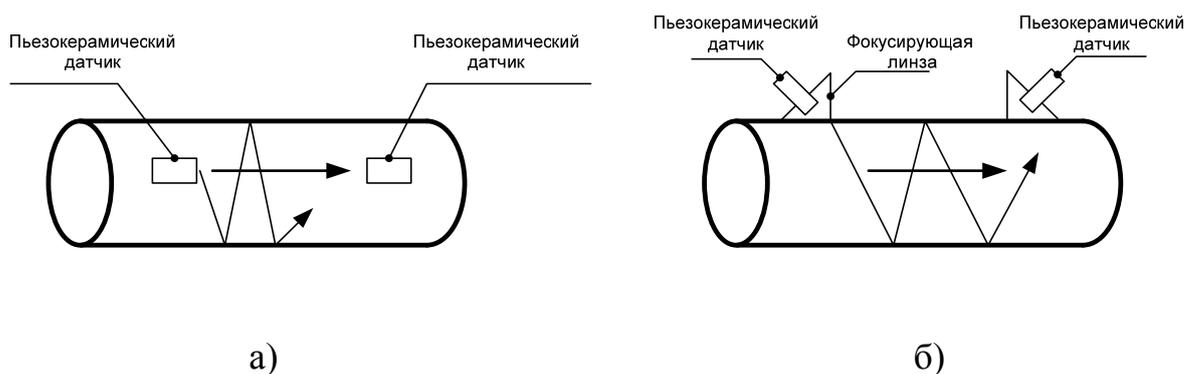


Рис. 2. – Устройства структурного мониторинга

На рис. 3 приведены виды поперечного сечения водопроводной трубы при накоплении органических и неорганических веществ и коррозии.

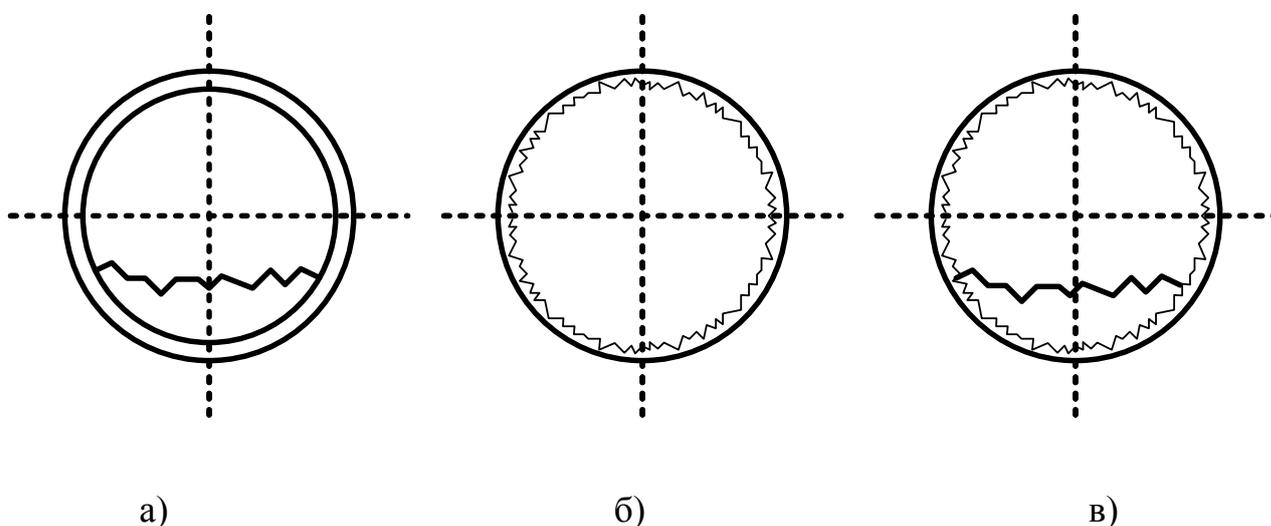


Рис. 3. – Виды поперечного сечения трубы: накопление органических и неорганических веществ (а); коррозия (б); накопление органических и неорганических веществ и коррозия (в)

Для оценки степени коррозии и накопления органических и неорганических веществ внутри трубы рассмотрим ультразвуковой метод (прошедшего и отраженного излучения). Сигнальные параметры распространения акустической волны чувствительны к среде распространения, внутренней структуре материала трубы, что выражается разбросом частот, сдвигом фаз, коэффициентом ослабления исходного импульса, дифракцией и т.п. В работах [2,3] рассмотрены методы, основанные на оценке времени прихода отраженного импульса, времени прихода прямого импульса или разницы во времени прихода прямого и отраженного импульсов. Приведенные методы основаны на применении положительной корреляции. Она оптимальна при следующих условиях: помехи в полученном импульсе, обусловленные множественным доступом, моделируются в пространстве и времени как белый Гауссов шум (БГШ); принятый импульс, сдвинутый во временной области, является копией исходного импульса.

Очевидно, что любое нарушение приведенных условий приводит к ограничению возможностей применения положительной корреляции. С другой стороны отраженный (или прямой) ультразвуковой импульс подвергается искажению формы в виде частотного рассеяния, сдвига фаз, искажения огибающей.

Частотное рассеяние ультразвукового импульса характеризует поглощающую способность, макро и микроструктуру материала трубы, а ультразвуковой коэффициент затухания характеризует частотно-зависимую поглощающую способность материала трубы.

Рассмотрим ультразвуковой импульс в виде:

$$s(\delta; t) = A \sin(2\pi f_c t + \varphi) e^{-(2f_c t / N)^4} + \eta(t),$$

где A – амплитуда импульса; f_c – частота; t – длительность импульса;
 N – число периодов; $\eta(t)$ – аддитивный гауссовский шум.

Применяем интерактивную систему Matlab 7.11.0.584. для вычисления
 фрактального преобразования Фурье (ФрПФ) заданного порядка a .

На рис. 4 приведен исходный зондирующий сигнал и его спектр.

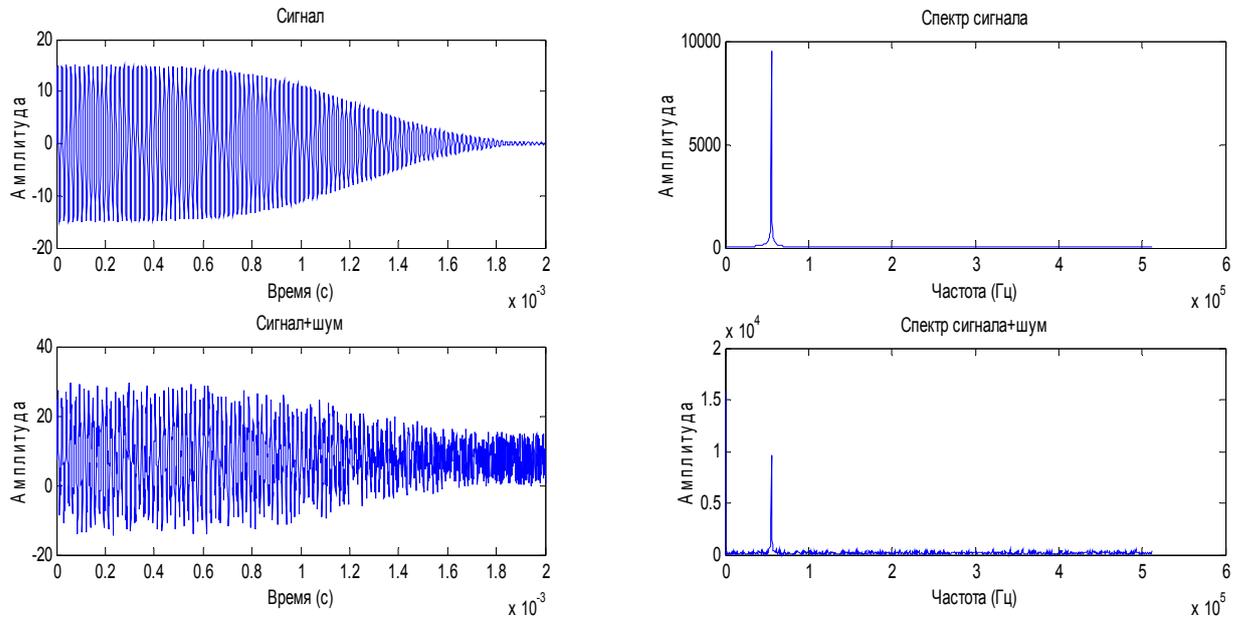


Рис. 4. – Вид зондирующего сигнала и его спектр

На рис. 5 и 6 приведены результаты вычисления фрактального преобразования Фурье (ФрПФ) заданного порядка a для зондирующего сигнала на выходе передающего устройства и на приёмной стороне.

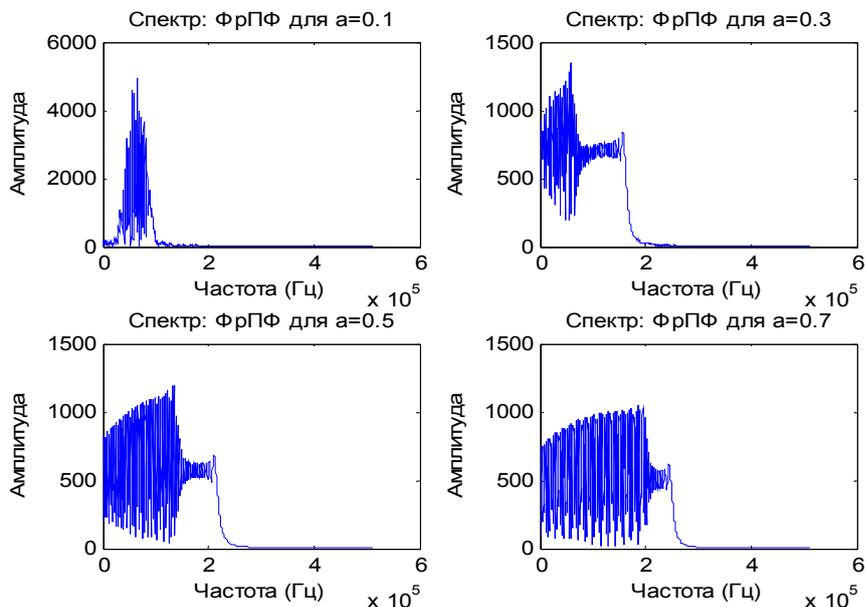


Рис. 5. – Результаты вычисления фрактального преобразования Фурье для зондирующего сигнала на выходе передающего устройства

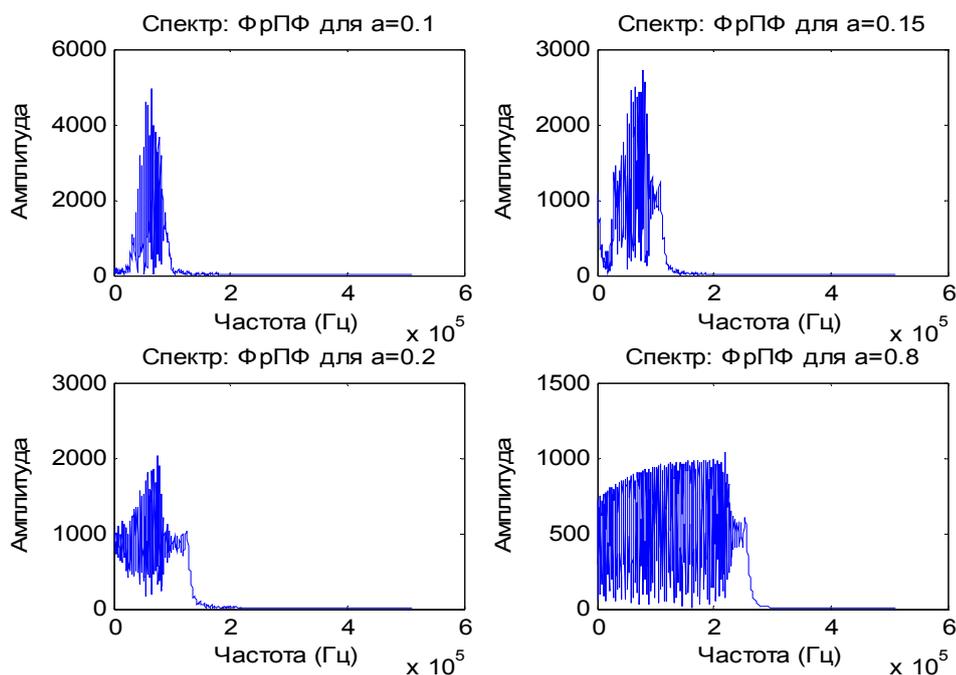


Рис. 6. – Результаты вычисления фрактального преобразования Фурье для зондирующего сигнала на входе приёмного устройства

Отметим, что лучшая концентрация спектральной энергии получена для порядка $a = 0,1$. Полученное значение соответствует модуляционному разряду 1,37, которое близко к теоретическому значению 1,42.

Таким образом, полученные результаты вычисления фрактального преобразования Фурье для зондирующего сигнала позволят оценить состояние водопроводных сетей на основе зависимости вида $\delta = f[A, f_c, t, \varphi, N]$.

Литература:

1. Проблемы промышленной безопасности в системе магистрального трубопроводного транспорта [Текст] // Материалы IX Всероссийского семинара-совещания руководителей по надзору за магистральными трубопроводами территориальных органов Госгортехнадзора России, руководителей и специалистов предприятий магистрального транспорта «Совершенствование государственного надзора за безопасностью

эксплуатации магистральных трубопроводов» 4-8 июня 2001г./ Редкол.: Р.И. Габдюшев и др. – Уфа: ГУП Уфимский полиграфкомбинат, 2001. – 281 с.

2. Dermile, R. Model-based estimation of ultrasonics echoes part I: Analysis and algorithms. / R. Dermile, J. Saniie. // IEEE Transactions on ultrasonics, ferroeletrics and frequency control. 2001. – pp. 787-802.

3. Dermile, R. Model-based estimation of ultrasonics echoes part II: Nondestructive evaluation applications. / R. Dermile, J. Saniie. // IEEE Transactions on ultrasonics, ferroeletrics and frequency control. 2001. – pp. 803-811.

4. Shin, H.J. Defect Detection and Characterization in Power Plant Tubing Using Ultrasonic Guided Waves / H.J. Shin, R. Yi, J.L. Rose // 14th WCNDT, New Delhi, India, December 8-13, 1996.

5. Сапронов, А.А., Зибров, В.А., Тряпичкин, С.А. Использование пьезоэлектрических датчиков в системе мониторинга магистральных водопроводных сетей [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, – №4 (часть 2). – Режим доступа:, <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1432> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

6. Сапронов, А.А., Зибров, В.А., Тряпичкин, С.А. Распределение акустической волны в подземном трубопроводе [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, - №4 (часть 2). – Режим доступа:, <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1458> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

7. Зибров, В.А. Ультразвуковая технология мониторинга продуктопровода [Текст] / В.А. Зибров // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2011». – Одесса: Черноморье, 2011. – Вып. 4. – т.9. – С.61–65.

8. Зибров, В.А., Мальцева, Д.А. Организация акустического канала передачи данных в распределительных магистральных сетях малого диаметра [Текст] // Актуальные вопросы современной техники и технологии: Сборник докладов VIII-й Международной научной конференции. – Липецк: Издательский центр «Гравис», 2012. – С.33–37.

9. Сапронов, А.А., Зибров, В.А., Занина, И.А., Соколовская, О.В. Исследование процесса передачи информации по акустическому каналу в водопроводе [Текст] // Энергосбережение и водоподготовка. – М.: Издательский дом «Граница», 2012. – №4. – С.52–54.

10. Справочник по акустике [Текст] / под ред. М.А. Сапожкова. – М.: Связь, 1979. – 312с.