

В.В. Головкин, А.И. Плаксин, Ю.К. Шлык

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОПРОВОДЕ

Представлено описание экспериментальной установки для исследования акустических процессов в газопроводе. Обоснован выбор программной среды для записи и обработки нестационарных сигналов. Рассмотрен метод частотно-временного анализа акустических сигналов с использованием вейвлет-преобразования. Приведены результаты применения данного метода при исследовании герметичности линейного участка газопровода.

Нестационарный сигнал, акустика, переходный процесс, частотно-временной анализ, вейвлет-преобразования, негерметичность.

Задачи, связанные с обнаружением негерметичности стенки магистральных нефте- и газопроводов, стоят в ряду важнейших задач нефтегазовой промышленности, что квалифицирует исследования в данном направлении как безусловно значимые.

Выполненные ранее теоретические исследования в рамках этой проблемы дали основание считать, что ее решение может быть успешно найдено с использованием метода электроакустических аналогий [1–3].

С целью экспериментальной проверки упомянутых теоретических выводов был изготовлен лабораторный стенд, моделирующий условия работы линейной части магистрального газопровода. На рис. 1 представлена его схема.

В состав установки вошли следующие основные блоки:

- полиэтиленовый трубопровод (наружный диаметр — 25 мм, внутренний — 20 мм);
- компрессор HAMMER СБ4/С-24.Ј1047 В (максимальное давление — 0,8 МПа, рабочая мощность — 1500 Вт, производительность — 200 л/мин);
- преобразователь давления (датчик избыточного давления КРТ 5-11, рабочий диапазон 0–0,25 МПа);
- запорная арматура (герметичные краны);
- блок питания датчика, линии связи.

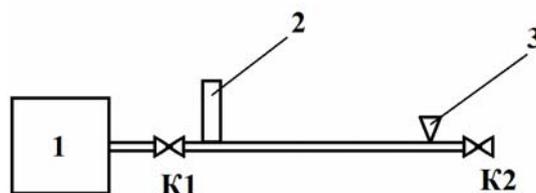


Рис. 1. Схема лабораторного стенда:

1 — компрессор; 2 — датчик избыточного давления; К1, К2 — запорная арматура;
3 — негерметичность стенки трубы

Для записи и обработки поступающей от датчика давления аналоговой информации использовался аналогово-цифровой преобразователь (National Instruments USB-6212), а также программный комплекс на базе National Instruments LabVIEW 2010.

В условиях эксперимента акустической средой, заполняющей трубопровод, был воздух. Данное обстоятельство определило еще один, помимо внутреннего диаметра, параметр лабораторного стенда. Это его длина, которая в условиях эксперимента составляла 3,3 и 33 м. Данный выбор длин трубопровода не случаен: задавался с учетом известной средней скорости звука в воздухе — 330 м/с.

Методика эксперимента включала в себя следующие основные этапы.

При закрытом К2 включался компрессор, который доводил давление в трубе до величины 0,1 МПа. После этого перекрывался К1, что изолировало среду (воздух) в трубопроводе от внешних акустических воздействий. Это определило исходное стационарное состояние системы «трубопровод — среда». Важно отметить, что с позиций классической акустики [4] используемый в ходе эксперимента трубопровод, заполненный воздухом, относится к классу волноводов с «абсолютно жесткими стенками». Данное обстоятельство позволяет считать, что все процессы, происходящие в системах такого рода, будут определяться лишь свойствами собственно среды, которая их заполняет. Исключением может быть лишь ситуация, в которой нарушается целостность трубопровода.

На втором этапе эксперимента в стенке трубопровода «мгновенно» открывалось отверстие («свищ») диаметром 1 мм, что переводило систему «трубопровод — среда» в нестационарное состояние, следствием чего было возникновение переходного процесса в соответствии с принятой ранее электроакустической моделью трубопровода с негерметичностью [2].

Данный процесс регистрировался в реальном времени, затем отверстие «мгновенно» закрывалось, что вызывало в системе «трубопровод — среда» повторный переходный процесс, идентичный первоначальному. Единственное различие между ними состояло лишь в том, что постоянная составляющая давления в последнем случае снизилась до значения 0,09 МПа.

Понятие «мгновенный» заимствовано из теории электрических цепей [5], которая ранее использовалась при моделировании возникшей негерметичности стенки трубопровода [2]. Однако в реальности этот процесс конечен и в условиях эксперимента составил не более 0,5 с. Тем не менее сам факт возникновения негерметичности уже приводит к возникновению переходного процесса в трубопроводе.

После определения необходимого числа параллельных измерений в соответствии с современными методами статистической обработки и планирования экспериментов [6] была проведена соответствующая серия из пяти опытов для каждого из вариантов длин. В результате полученное отклонение экспериментальных значений от теоретических не превысило допустимые 5 %.

На рис. 2 представлен интерфейс программы обработки нестационарных сигналов от датчика. Изображены графики сигнала до и после фильтрации, а также результаты частотно-временного анализа нестационарных процессов в трубопроводе с использованием вейвлет-преобразования.

Как следует из рис. 2, переходный процесс, будучи колебательным, затухает по экспоненциальному закону. Факт снижения амплитуды акустических колебаний вполне объясним, он связан с диссипацией их энергии. А вот параметр частоты этих колебаний заслуживает особого внимания, тем более что он был прогнозируем.

Так, для длины трубопровода в 3,3 м частота акустических колебаний составила 47,6 Гц (теоретическая — 50 Гц), а для длины 33 м — 4,8 Гц (теоретическая — 5 Гц).

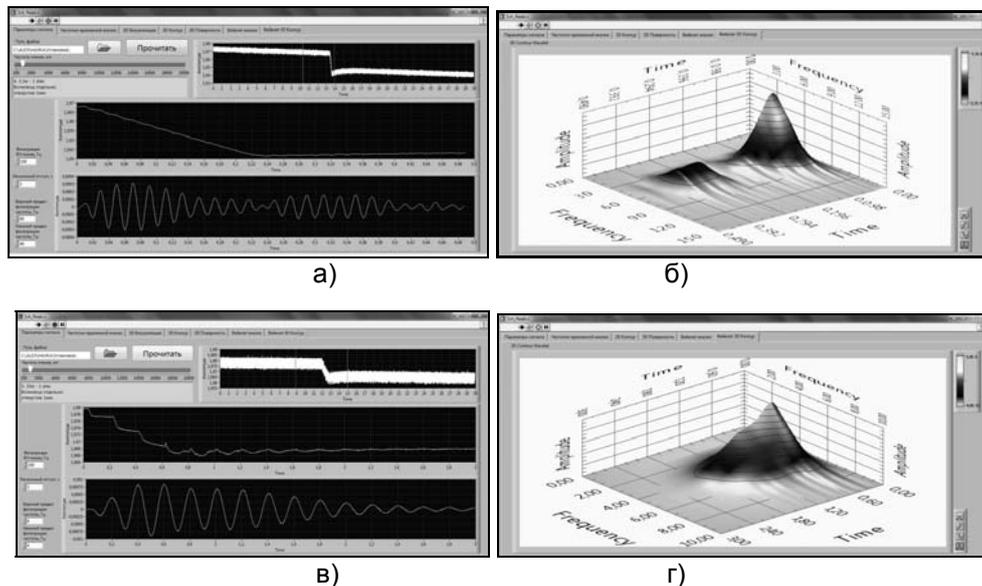


Рис. 2. Интерфейс программы обработки нестационарных сигналов. Графики сигналов до и после фильтрации и трехмерные изображения результатов частотно-временного анализа переходных процессов в трубопроводе с использованием вейвлет-преобразования:
 а) трубопровод 3,3 м, графики переходного процесса; б) 3,3 м, результат анализа;
 в) трубопровод 33 м, графики переходного процесса; г) 33 м, результат анализа

Данный факт был установлен после цифровой фильтрации исходных функций акустических колебаний в трубопроводе. Необходимо особо отметить, что при создании программного комплекса для записи и обработки данных за основу был взят уже прошедший апробацию применительно к биологическим системам программный продукт [7].

На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма обработки нестационарных сигналов, переработанная из описанной ранее [7] применительно к рассматриваемой задаче.

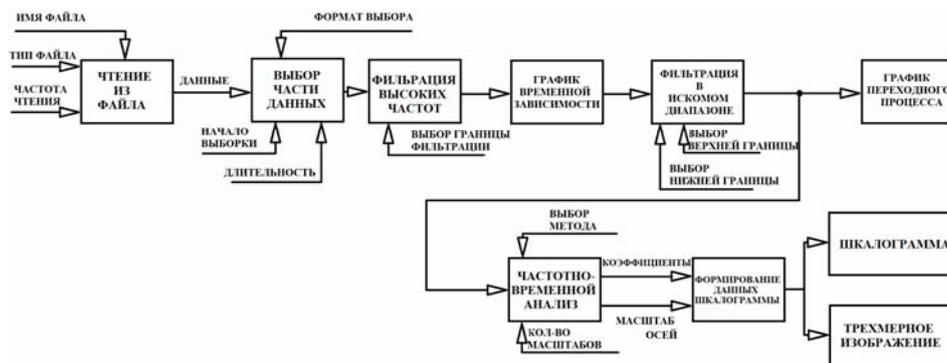


Рис. 3. Блок-схема алгоритма обработки информации

По результатам выполненных исследований сделаем ряд выводов.

Экспериментально доказана обоснованность представления трубопровода с негерметичностью электрической схемой-аналогом [2].

Такие измеренные в ходе эксперимента параметры, как затухание и частота свободных колебаний, в сочетании с длиной трубопровода, его внутренним диаметром и плотностью среды (воздух), которая его заполняет, позволяют определить погонные (приведенные к единице длины трубопровода) параметры эквивалентной схемы его замещения. Такой подход имеет статус всеобщего, поскольку применим для любых трубопроводов и любых сред, которые его заполняют под давлением.

Положительный результат, полученный при использовании в условиях эксперимента авторского программного комплекса обработки нестационарных процессов, свидетельствует о возможности применения описанного подхода к трубопроводным системам любого типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлык Ю.К., Плаксин А.И. Электромоделирование переходных процессов в трубопроводе // Изв. вузов. Нефть и газ. Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ. 2011. № 4. С. 79–82.
2. Шлык Ю.К., Плаксин А.И. Электромоделирование нестационарного процесса в трубопроводе с негерметичностью // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2012. № 11. С. 32–35.
3. Пат. № 2457392. Способ диагностики герметичности магистрального трубопровода / Ю.К. Шлык, А.И. Плаксин. № 2010154752/06; Заявл. 30.12.2010; Опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.
4. Исакович М.А. Общая акустика. М.: Наука, 1973. 496 с.
5. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.
6. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М., 1971. 192 с.
7. Головкин В.В., Шлык Ю.К., Митянов А.Д. Использование вейвлет-преобразования для обработки нестационарных акустических сигналов сердца с целью выявления его патологий // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2009. № 8. С. 81–88.

V.V. Golovkin, A.I. Plaksin, Yu.K. Shlyk

Computer processing of experimental results on acoustic processes in gas pipeline

The article describes an experimental unit for investigation of acoustic processes in gas pipeline, motivating choice of software environment for registration and processing of non-stationary signals. Subject to consideration being a method of time-frequency analysis of acoustic signals using wavelet transformations. The paper quotes results on using this method for the investigation of leak resistance in a linear section of gas pipeline.

Non-stationary signal, acoustics, transition process, time-frequency analysis, wavelet transformations, leakage.