

УДК 621.002:004.354

С.П. Тарасов, В.А. Зибров

**ОРГАНИЗАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ
В ПРОДУКТОПРОВОДЕ**

Ультразвуковые технологии мониторинга энергоресурсов позволяют измерять любые среды, используя при этом акустический канал непосредственно в магистрали продуктопровода. В работе рассмотрена возможность распространения импульсных сигналов в цилиндрических продуктопроводах. Показано, что в цилиндрическом продуктопроводе желательна передача информации с помощью низших мод. Отмечается целесообразность разработки имитационных моделей распространения ультразвуковых волн в неидеальном продуктопроводе, рассмотрения различных видов сигналов, проведения численного эксперимента для сравнения полученных результатов с результатами натурального эксперимента.

Акустика; контроль; канал; продуктопровод.

S.P. Tarasov, V.A. Zibrov

THE ORGANIZATION OF THE ACOUSTIC DATA LINK IN PRODUCT LINE

Ultrasonic production engineering of monitoring of power resources, allows to measure any medium, using thus the acoustical channel directly in a highway product line. Possibility of extending of impulse signals in cylindrical product line is In-process observed. It is shown that in cylindrical product line it is desirable to hand over the information by means of the lowest fashions. The expediency of working out of imitating models of distribution of ultrasonic waves in nonideal product line, considerations of various kinds of signals, carrying out of numerical experiment for comparison of the received results with results of natural experiment is marked.

Acoustics; the control; the channel; product line.

Обширная сеть наземных и подземных продуктопроводов используется для подачи воды, отвода сточных вод, транспортировки нефти и нефтепродуктов, природного газа и др. Продуктопроводы применяют и для транспортировки твердых тел например: полезных ископаемых (уголь, руда и т.д.); строительных материалов (песок, щебень, цемент, бетон); муниципальных и промышленных отходов; радиоактивных материалов и сотни других продуктов. Во многих случаях продуктопроводы являются основными транспортными магистралями, причем большинство из них расположено под землей. Причины утечек, порывов, разрывов продуктопроводов могут иметь разную природу: вызванные земляными работами (санкционированными и несанкционированными); коррозией, особенно для металлических труб при высоком давлении (транспортировка нефти, природного газа и т.п.), для пластмассовых труб при низком давлении (жидкие удобрения, аммиак и т.п.); деформацией материалов, изменением ландшафта, климатическими условиями, типом транспортируемого продукта и т.п.

Проведенный авторами анализ литературных источников показал, что применение ультразвуковой технологии мониторинга энергоресурсов позволяет измерять любые среды, используя акустический канал непосредственно в магистрали продуктопровода. Акустический канал передачи данных дает возможность наиболее полно реализовать мониторинг продуктопровода, особенно в тех случаях, когда передача информации традиционно используемыми способами затруднена или невозможна. В связи с чем возникает необходимость рассмотрения возможности распространения акустических волн для случаев идеального и неидеального продуктопровода [1–2].

Распространение импульсного ультразвукового сигнала в цилиндрическом продуктопроводе сопровождается рядом специфических эффектов, принимая данный факт во внимание, авторы намерены посвятить цикл публикаций исследованию распространений импульсных сигналов в цилиндрических продуктопроводах.

Большинство теоретических исследований анализирует волну в различных формах распространения (моды). На практике для организации акустического канала передачи данных в продуктопроводе, как правило, рассматривают продольный тип волны. Наличие различных препятствий, изменений в геометрии продуктопровода (изгибы, ответвления и т.п.) также являются источниками искажений передаваемого сигнала. Отражения акустической волны от препятствий продуктопровода рассеиваются в окружающей водной среде, при этом значительно уменьшая энергию волны и увеличивая многолучевое распространение. Дисперсионный характер распространения акустической волны в продуктопроводе наблюдается с помощью ультразвуковых импульсов и волнами определенного спектра частот. Эти волны, распространяясь по продуктопроводу, регистрируются на определенных расстояниях вдоль его длины несколькими приемниками, расположенными в различных точках через поперечный разрез продуктопровода. Полученные таким образом данные позволяют изучить искажения импульсов по амплитуде, фазе и частоте, в зависимости от множественных препятствий, материалов и конфигураций продуктопровода.

Рассмотрим источник излучения в произвольном пространственном расположении (r, θ) в цилиндрическом продуктопроводе с твердыми стенками, заполненном водой (рис. 1).

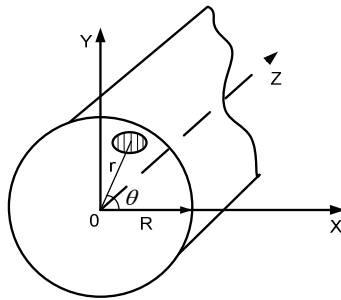


Рис. 1. Источник в произвольном пространственном расположении в цилиндрическом продуктопроводе с твердыми стенками, заполненном водой

Решение для акустического давления имеет вид

$$P(r, \theta, z) = \frac{\rho}{2\pi R^2} \omega \sum_{m=1}^M [J_m(kr_0)S(\theta_0)] J_m(kr)S(\theta) e^{ik_m(z-z_0)},$$

где R – радиус трубы; $k = 2\pi f / c$ – волновое число; r – расстояние до источника излучения; $J_m(kr)$ – функция Бесселя. Из общего решения выбираем только те решения, которые удовлетворяют граничным условиям

$$J_m(kr) = \frac{d}{dr} J_m(kr) \Big|_{r=R} = 0 \text{ и } k_{mj} = \sqrt{k_0^2 - k_{mj}^2}, \text{ учитывает только те значения } k_{mj},$$

которые удовлетворяют условию $k_{mj} \leq k_0$. Скорость распространения звука в воде $c = 1480$ м/с, выбираем частоту $f = 24,5$ кГц и определяем наибольшие допустимые значения $k_{mj} : k_{mj(\max)} = k_0 = 2\pi 24,5 / 1,48 \approx 104 \frac{1}{\text{м}}$.

Для трубы радиусом $R = 308$ мм все значения $k_{mj}R$ удовлетворяют $k_{mj}R \ll 104 \cdot 0,308 = 32,032$ и заданным граничным условиям. В результате имеем 3920 мод. Мода с индексом 0,0 – это плоская волна со скоростью распространения звука в воде и волновым числом $k_{00} = k_0$. В статье рассмотрен сигнал $f(t) = A \sin(\omega_c t)$, $0 < t < 4/f_c$ (рис. 2).

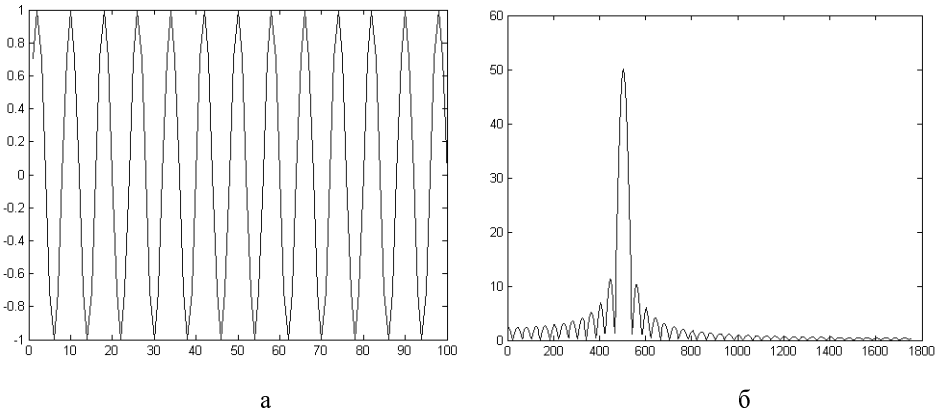


Рис. 2. Тестовый импульс (а) и его спектр (б)

Рассмотрим распространение импульса на расстояниях $z = 100$ м, 500 м и 1 500 м (рис. 3–5) для различных мод. Время распространения импульса:

$$t_{f100} = 100 \left(\frac{1}{1175} - \frac{1}{1480} \right) = 0,018 \text{ с,}$$

$$t_{f500} = 0,088 \text{ с,}$$

$$t_{f1500} = 100 \left(\frac{1}{1175} - \frac{1}{1480} \right) = 0,255 \text{ с.}$$

В работе использована интерактивная система для выполнения инженерных и научных расчетов Matlab 7.11.0.584.

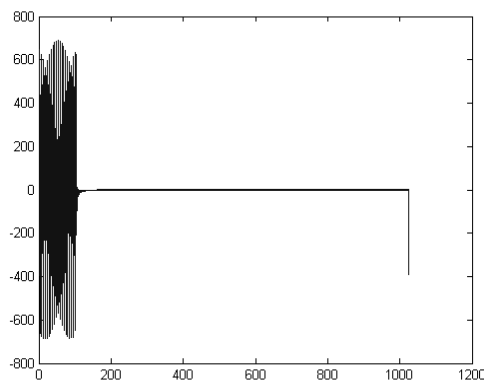


Рис. 3. Вид импульса на расстоянии 100 м для моды 0,0

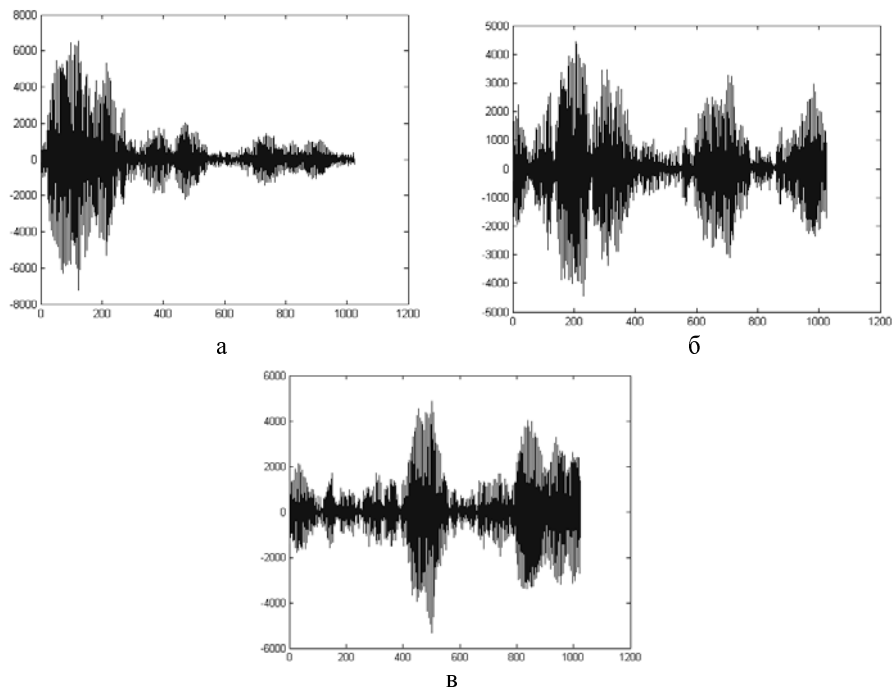


Рис. 4. Вид импульса на расстоянии для моды 0,1: а – 100 м; б – 500 м; в – 1 500 м

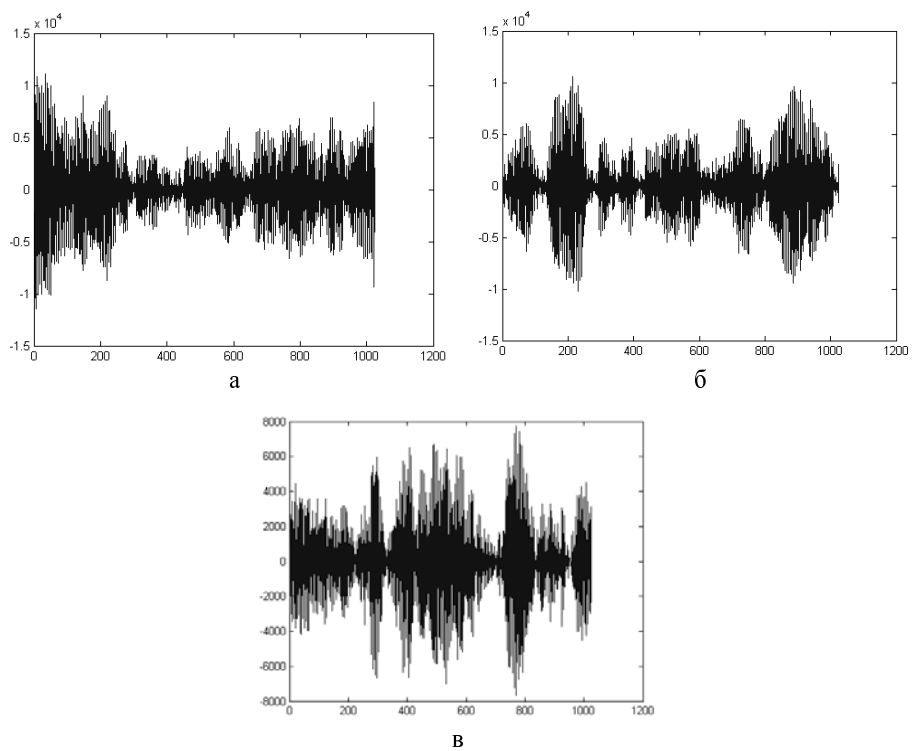


Рис. 5. Вид импульса на расстоянии для моды 1,1: а – 100 м; б – 500 м; в – 1500 м

Таким образом, в цилиндрическом продуктопроводе желательнее передавать информацию с помощью оговоренной выше волны с модой 0,0. При этом следует обратить внимание на следующее: необходимо применение согласованного фильтра для выделения режима распространения 0,0 из принятых импульсов; большая часть энергии импульса приходится на распространение многих мод, значительно ослабляя моду (0,0).

Поэтому целесообразно: разработать имитационные модели распространения ультразвуковых волн в неидеальном продуктопроводе, рассмотреть различные виды сигналов, сигналы с линейной частотной модуляцией и т.п., а также провести численный эксперимент, сравнив полученные результаты с результатами натурального эксперимента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сапронов А.А., Зибров В.А. Использование пьезоэлектрических преобразователей для передачи информации о потребляемых водных ресурсах. [Текст]: / Энергосбережение и водоподготовка. Научно-технический журнал. – М.: Издательский дом «Граница», 2009. – № 3. – С. 44-46.
2. Урик Р. Дж. Основы гидроакустики. [Текст]: / Пер. с англ. под ред. Шендерова. – Л.: Судостроение, 1978. – 620 с.
3. Акустика: Справочник [Текст]: / А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожников, В.И. Широв; Под ред. М.А. Сапожникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. А.В. Кожемяченко.

Тарасов Сергей Павлович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: tarasov@fep.tti.stedu.ru.

374928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371795.

Д.т.н.; профессор.

Зибров Валерий Анатольевич

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса.

E-mail: zidrov@sssu.ru.

346503, г. Шахты, ул. Парковая, 13, кв. 50.

Phone: 88636236555.

К.т.н.; доцент.

Tarasov Sergey Pavlovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: tarasov@fep.tti.stedu.ru.

44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371795.

Dr. of Eng. Sc., Professor.

Zibrov Valeriy Anatol'evich

The South-Russian State University of Economy and Service.

E-mail: zidrov@sssu.ru.

13, Parkovaya Street, Apr. 50, Shakhty', 346503, Russia.

Phone: +78636236555.

Cand. of Eng. Sc.; Associate Professor.