

Д. А. Васильев, Ю. К. Шлык

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СТЕНКИ ТРУБОПРОВОДА НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

*Приведены результаты модельных исследований зависимости спектра шумов от негерметичности в газопроводе. Экспериментально доказано различие между акустическими спектрами герметичного и разгерметизированного трубопроводов, по которым можно судить о диаметре отверстия и его линейной координате.*

В ходе предыдущих исследований была доказана возможность контроля герметичности стенки магистрального трубопровода акустическим методом [1, 2]. Своевременное обнаружение негерметичности, вызванной коррозией металла, трещинами и т. д., позволит предотвратить развитие аварийной ситуации, приводящей, как правило, к серьезным экологическим последствиям, что делает данную работу несомненно актуальной.

Все известные методы акустического контроля могут быть разделены на две основные группы [3]:

— методы активной диагностики, основанные на излучении и приеме акустических волн [4–6];

— методы пассивной диагностики, основанные на регистрации акустических волн, возникающих в объектах и системах [7–9].

Изучению свойств акустических характеристик газового потока уделяется большое внимание, о чем свидетельствуют работы Б. Ф. Гликмана и Е. В. Лебединского по исследованию различного рода газовых трактов: разветвленных, с поворотами, переменного сечения, периодической структуры [10–13]. А. Н. Руденко описал способ обнаружения местоположения источника колебаний давления в трактах энергетических установок [14]. Работа Ю. В. Фирсова посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию акустических частотных характеристик потока газа в трубопроводе с сосредоточенным сбросом или вдувом части расхода через боковую поверхность [15].

Мы предлагаем способ обнаружения негерметичности в трубопроводе, основанный на регистрации акустических шумов, возникающих в месте утечки среды из трубопровода, отличающийся тем, что в качестве канала передачи информации используется среда, заполняющая трубопровод. При этом регистрируется амплитудно-частотная характеристика спектра гидроакустических шумов в герметичном трубопроводе, этот спектр сравнивается со спектром гидроакустических шумов в трубопроводе, имеющем негерметичность, и по рассогласованию данных спектров регистрируется факт возникновения негерметичности в его стенке [9].

Движение любой среды (газ, жидкость) в трубе сопровождается определенным уровнем звукового поля, которое характеризуется амплитудно-частотным составом спектра акустических шумов. По существу, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) представляет собой совокупность дискретного набора частот любого сложного периодического процесса, имеющих различные значения амплитуды. Это универсальная характеристика, по изменению которой можно судить как о любых отклонениях технологического режима

перекачки среды от номинального, так и о возникшей негерметичности стенки самого волновода.

С целью решения задачи диагностики герметичности стенки трубопровода по АЧХ был создан экспериментальный лабораторный стенд, в состав которого вошли следующие основные блоки:

- четыре полиэтиленовые трубы длиной 2 м наружным диаметром 15 мм и внутренним 12 мм каждая;

- компрессор, в качестве которого использовался пылесос «Samsung» мощностью 1500 Вт, работающий в нагнетательном режиме с регулятором напряжения, при помощи которого можно менять частоту вращения турбины компрессора, задавая различные значения расхода и давления газа в трубопроводе;

- счетчик газа ротационный G4 РЛ;

- манометр с пределом измерения  $10^5$  Па;

- два первичных преобразователя давления (датчики давления) тензометрического типа КПТ 5 с верхним пределом измерения  $5 \cdot 10^5$  Па;

- источники постоянного напряжения для питания датчиков;

- анализатор спектра частот типа А17, с диапазоном измеряемых частот от 0,03 Гц до 200 кГц, оснащенный пакетом прикладных программ, позволяющих осуществлять компьютерную обработку регистрируемых спектральных характеристик;

- соединительная и запорная арматура трубопровода;

- полиэтиленовые трубы длиной 2 м наружным диаметром 15 мм и внутренним 12 мм каждая с отверстиями различного диаметра. Диаметры отверстий (в мм): 1; 1,5; 2; 2,2; 2,5; 2,7; 3; 3,2; 3,3; 3,5; 4; 4,5.

- линии связи.

После включения компрессора в трубопроводе создавался установившийся режим движения воздуха, при котором контролировались средние величины давления и расхода. Процесс перекачки воздуха, сопровождаемый некоторым уровнем акустического шума в трубопроводе, можно считать стационарным, до тех пор пока частота вращения турбины компрессора не изменится. Его следует рассматривать в виде некоторой периодической функции давления, которая накладывается на постоянную (среднюю) составляющую, регистрируемую манометром.

Как было отмечено ранее, величина акустического давления незначительна, однако используемые в ходе эксперимента датчики обладают требуемой чувствительностью для его регистрации. В датчике происходит процесс преобразования неэлектрической величины (давления) в электрический сигнал, принимаемый анализатором спектра частот, где происходит обработка и результат в виде АЧХ — функции акустического шума выводится на экран монитора.

Эксперимент включал следующие основные этапы:

1. При заданном режиме движения воздуха в трубопроводе регистрировалась базовая АЧХ акустических шумов.

2. При том же режиме прокачки в стенке трубопровода делалось отверстие малого диаметра; при этих условиях регистрировалась новая АЧХ, которая сопоставлялась с базовой (п. 1).

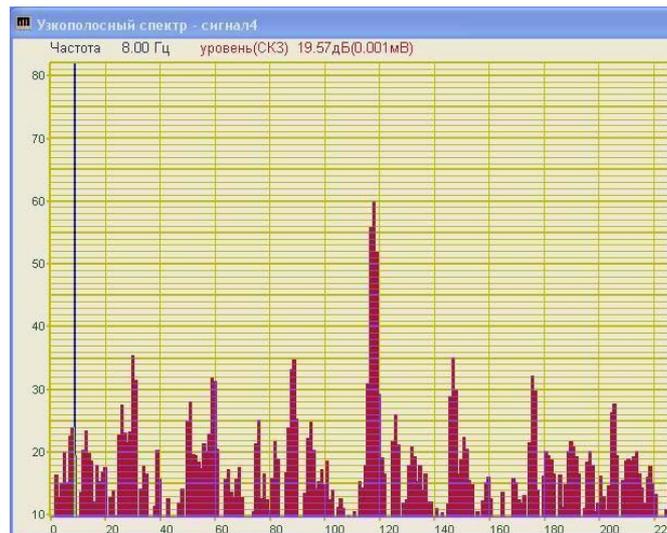
3. Процедура, описанная в п. 2, осуществлялась при различных диаметрах отверстия в стенке трубопровода.

4. Менялось место положения отверстия по длине трубопровода и АЧХ одновременно регистрировались двумя датчиками давления, расположенными в начале и конце трубопровода.

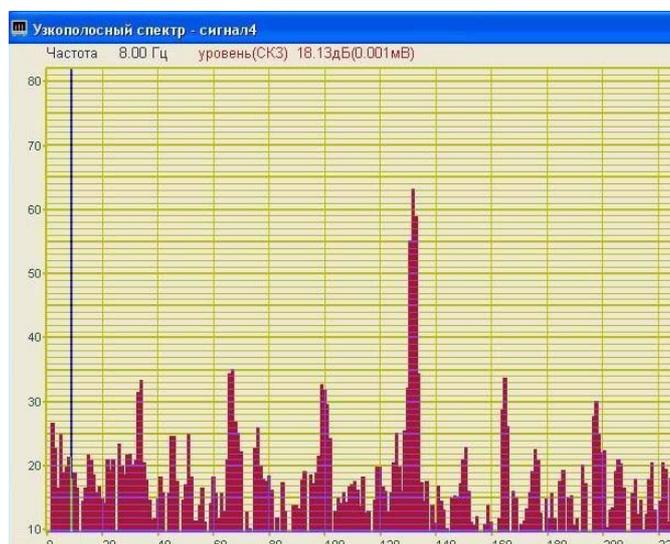
5. Все измерения повторялись при изменении площади выходного сечения волновода с помощью запорной арматуры.

Далее представлены результаты экспериментальных исследований по предложенной методике, в ходе которых была сформирована база данных, насчитывающая более 120 позиций.

Базовая характеристика амплитудно-частотных спектров представлена на рис. 1.



а

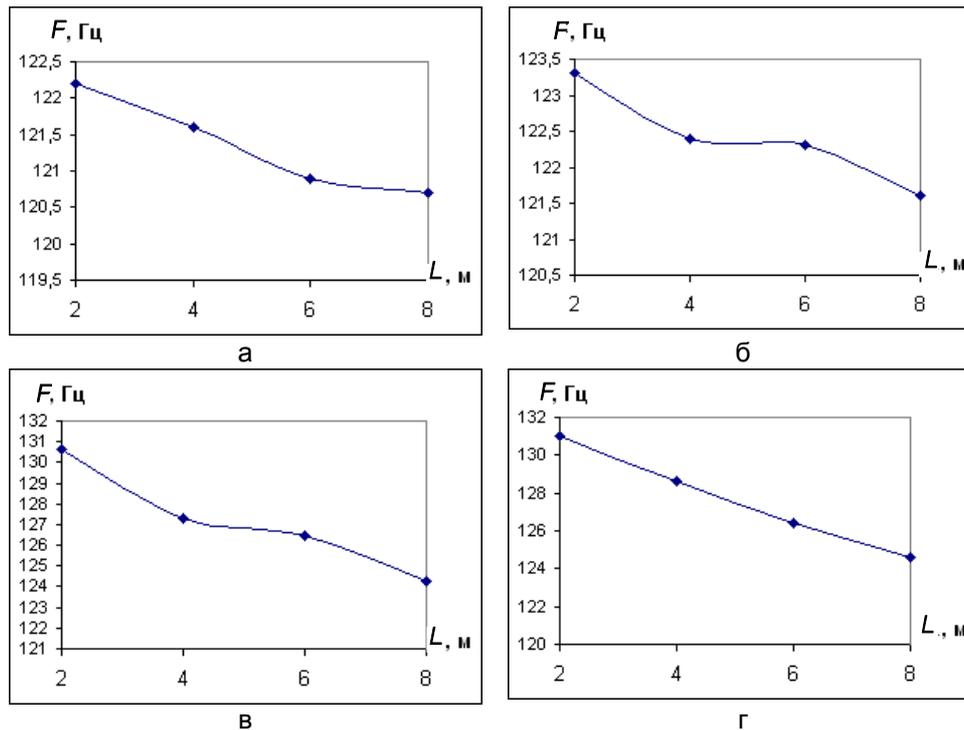


б

Рис. 1. АЧХ герметичного (а) и негерметичного (б) трубопроводов

Как видно из рис. 1, при появлении негерметичности наблюдается явное смещение частот спектра со 119 до 131 Гц, что свидетельствует о реакции трубопровода на нарушение его физической целостности.

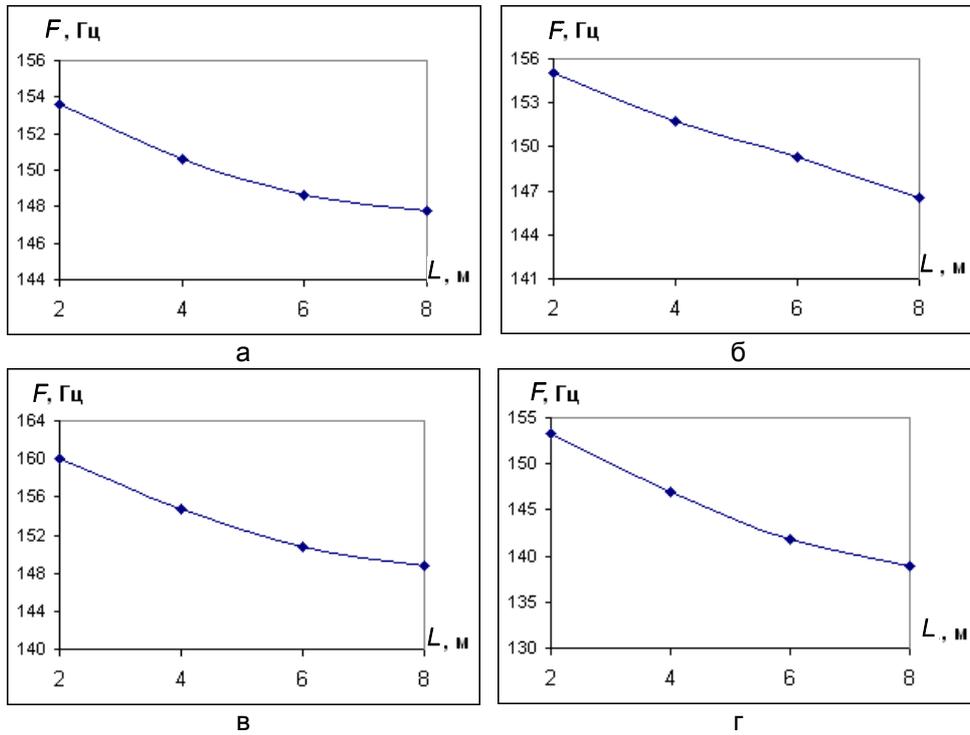
На рис. 2, 3 приведены экспериментальные зависимости изменения несущей частоты акустических шумов ( $F$ ) от места положения отверстия по длине волновода ( $L$ ), отличающиеся различными режимами движения воздуха в трубопроводе.



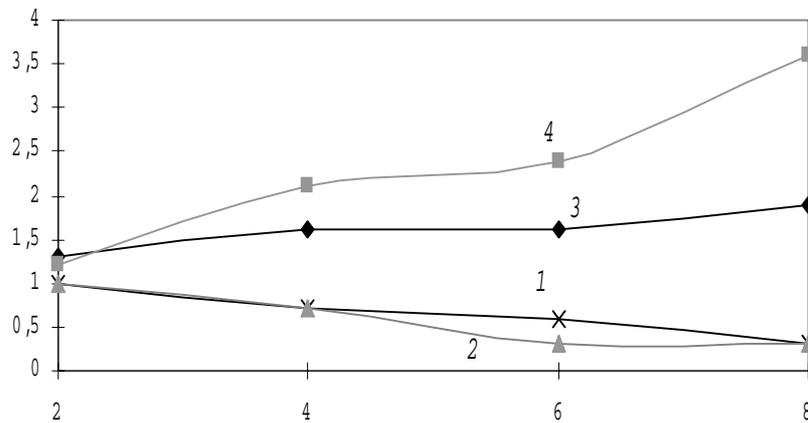
**Рис. 2.** Зависимость несущей частоты акустических спектров от места положения негерметичности при максимальной площади поперечного сечения волновода: диаметр отверстия: а — 2 мм; б — 2,5 мм; в — 3 мм; г — 3,5 мм

Как видно из рис. 2, 3, сдвиг частот между герметичным и разгерметизированным трубопроводами зависит и от расположения отверстия по длине трубопровода, и от диаметра самой негерметичности.

Для нагруженного волновода, т. е. при 50%-ной площади выходного сечения, имеет место разность давлений на одном и том же датчике, находящемся в начале или конце трубопровода. Зависимость давления в волноводе от места положения отверстия по длине трубопровода представлена на рис. 4. По мере приближения координаты негерметичности к концу исследуемого волновода наблюдается понижение амплитуды давления на первом датчике и одновременное ее возрастание на втором.



**Рис. 3.** Зависимость несущей частоты акустических спектров от места положения негерметичности при 50%-ной площади поперечного сечения волновода: диаметр отверстия: а — 1 мм; б — 1,5 мм; в — 2 мм; г — 2,2 мм.



**Рис. 4.** Зависимость давления в волноводе от места положения отверстия по длине трубопровода:  
1, 2 — разность давлений на датчике, находящемся соответственно в начале и конце трубопровода, при диаметре отверстия 2 мм;  
3, 4 — то же при диаметре отверстия 2,2 мм

В итоге можно констатировать, что выбранный акустический метод диагностики герметичности трубопровода достаточно перспективен. В ходе эксперимента удалось не только установить факт появления негерметичности стенки трубы (свища), но и оценить ее диаметр, а также место расположения по длине трубы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Д. А., Шлык Ю. К. Диагностика герметичности магистрального газопровода // Вестн. кибернетики. — Тюмень: Изд-во ИПОС РАН, 2004. — № 3. — С. 121–124.
2. Шлык Ю. К., Васильев Д. А., Кречина Г. С. Электороакустическое моделирование линейной части магистрального газопровода // Вестн. кибернетики. — Тюмень: Изд-во ИПОС РАН, 2005. — № 4. — С. 20–23.
3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник: В 2 кн. / Под ред. В. В. Клюева. — Кн. 2. — М.: Машиностроение, 1976. — 326 с.
4. Способ определения дефектов стенки нефтяных и газовых трубопроводов и целостности внешней изоляции: Пат. 2121105 РФ: F 17 D 5/02 / В. Н. Виноградов, В. К. Киселев, Н. З. Тремасов. — Оpubл. 27.10.98.
5. Способ обнаружения утечек жидких углеводородов из магистральных трубопроводов: Пат. 2117855 РФ: F 17 D 5/02 / Р. М. Алеев, В. Н. Чепурский. — Оpubл. 20.08.98.
6. Способ обнаружения порыва подводного трубопровода: Пат. 2001102343 РФ: F 17 D 5/02 / Г. П. Турмов, Л. Н. Алексейко, М. И. Звонарев, С. А. Минапов. — Оpubл. 20.01.03.
7. Устройство контроля герметичности конструкций: Пат. 2001127091 РФ: F 17 D 5/02 / А. И. Воробьев, Е. Г. Дзекун. — Оpubл. 27.06.03.
8. Способ определения места и размеров течи в трубопроводе и устройство для его реализации: Пат. 2001125842 РФ: F 17 D 5/02 / Р. Ц. Гулиянц, Н. С. Каришнев, В. В. Усов, Л. Е. Шейнман. — Оpubл. 27.07.03.
9. Способ диагностики трубопровода: Пат. 2241174 РФ: 7F 17 D 5/05 / Ю. К. Шлык, И. А. Каменских. — Оpubл. 27.11.04.
10. Лебединский Е. В., Мосолов С. В., Никифоров М. В. Экспериментальное исследование динамических свойств потока в тракте периодической структуры // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1989. — № 3. — С. 126–134.
11. Гликман Б. Ф., Лосенков А. С. Анализ акустических характеристик разветвленных газовых трактов с использованием сигнальных графов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1986. — № 3. — С. 151–155.
12. Гликман Б. Ф., Гурьев В. А. Акустические характеристики неизотермического потока вязкого газа в трактах переменного сечения // Акустический журн. — 1987. — Т. 33, № 6. — С. 1015–1023.
13. Гликман Б. Ф., Лосенков А. С. Акустические характеристики газового потока в трактах с поворотами // Акустический журн. — 1989. — Т. 35, № 2. — С. 245–248.
14. Руденко А. Н., Ильченко М. А., Эпштейн В. Л. Способ обнаружения местоположения источника колебаний давления в трактах энергетических установок // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1989. — № 3. — С. 106–110.
15. Фирсов Ю. В. Акустические характеристики газового потока в тракте с сосредоточенным сбросом или вдувом части расхода // Акустический журн. — 1992. — Т. 38, № 6. — С. 1110–1114.

D. A. Vasiliev, Yu. K. Shlyk

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION RESULTS OF PIPELINE WALLS LEAKPROOFNESS AT A PHYSICAL MODEL

*There are given results of model investigations for noise spectra dependence on leakage in a gas pipeline. Difference between acoustic spectrum of leakproof and leakage pipeline is experimentally proved and it allows to suppose a diameter of the hole and its linear coordinate.*