

## **ИЗМЕНЕНИЕ ОГИБАЮЩЕЙ ШУМОВОГО СПЕКТРА НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ**

**М. М. ДИВИЗИНЮК, М. А. ЛЯХОВ, А. В. ЧУХЛЕБОВА,  
Ю. Ю. ГОНЧАРЕНКО, Е. Е. СМЫЧКОВ, М. И. ОЖИГАНОВА**

*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности*

Рассматриваются результаты натуральных экспериментов, выполненных во время эксплуатации трубопроводов различного сечения (диаметра). Показано, что при одних и тех же нарушениях эксплуатации, а именно капельное протекание, образование свищей и трещин в трубопроводах аналогичных образом изменяет огибающую шумового спектра, регистрируемого пьезоэлектрическими преобразователями (датчиками) с поверхности трубопроводов на различных этапах эксплуатации.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Как известно, одним из методов контроля состояния технических агрегатов являются акустико-эмиссионные методы [1]. Они являются активными методами неразрушающего контроля, при этом происходит излучение акустического сигнала, и по его изменению судят о целостности конструкции, скрытых дефектах и т.д. Суть метода, применяемого в данной работе, состоит в том, что анализируются шумовые спектры работающих механизмов, и по их изменению судят о работоспособности всего агрегата. Подобный метод применяется при эксплуатации турбинных установок самого различного назначения. В данном случае анализируется работоспособность (целостность) трубопроводных соединений на различных этапах эксплуатации [2]. Экспериментально были рассмотрены две зависимости: изменение огибающей шумового спектра в зависимости от давления рабочей жидкости, и в зависимости от герметичности трубопроводной конструкции.

### **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

Целью данной работы является исследование огибающей шумового спектра на различных этапах эксплуатации трубопроводов. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Первоначально, разработать лабораторную установку, являющуюся прототипом участка нагруженного трубопровода, и методику проведения экспериментов. Затем выполнить эксперименты и проанализировать полученные результаты.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Основу лабораторной установки составлял стенд, оборудованный специальными креплениями для двух отрезков труб различного диаметра (от 100 до 1000 мм). Эти отрезки труб, длиной до двух метров, крепились параллельно друг другу и соединялись последовательно с помощью резинового шланга и обухов, как показано на рис. 1. Конец одной из труб подсоединялся с помощью другого резинового шланга к редуктору (Р), оснащенный регулятором выходного давления рабочей жидкости и манометром (М).

Редуктор в свою очередь подключался к водной (пожарной) магистрали. Конец второй трубы оснащался другим резиновым шлангом, который обеспечивал сток рабочей жидкости. Примерно по середине этой трубы устанавливался пьезоэлектрический датчик (ПЭ), обеспечивающий регистрацию различных колебаний. Выход пьезоэлектрического датчика через усилитель (У) соединялся с входом спектр-анализатора (СА). Рабочий диапазон всех электронных приборов был примерно одинаков и располагался в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. В спектр-анализаторе этот диапазон разбивался на одиннадцать поддиапазонов, в каждом из которых использовалось по 400 узкополосных фильтров. На электронно-лучевой трубке спектр-анализатора отображается амплитудно-частотный спектр, содержащий 400 точек. Предусмотрен также режим регистрации спектра в широком диапазоне.

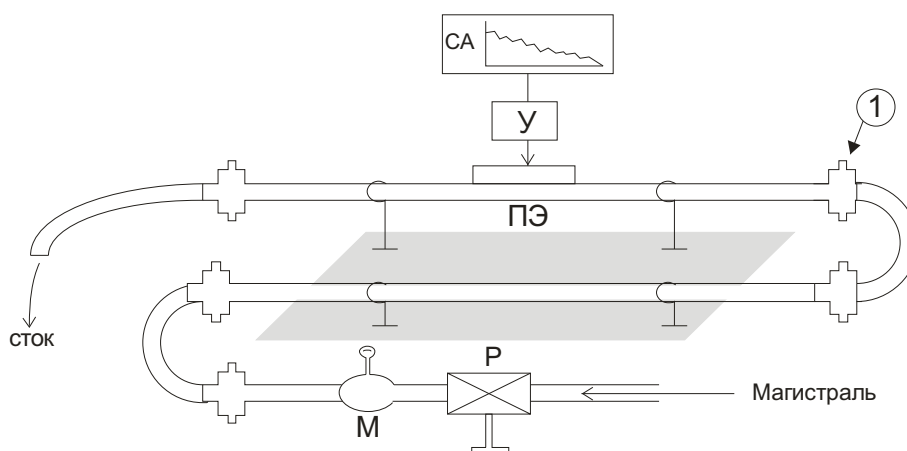


Рис.1. Схема лабораторной установки

Методикой проведения экспериментов предусматривалась работа с отрезками труб двух диаметров 120 мм и 230 мм. Первоначально проводилось измерение параметров шумового спектра при различных значениях давления рабочей жидкости, подаваемой в отрезки труб, а именно 8, 4, 2 и 0,5 кг/см<sup>2</sup>. Затем уменьшением силы зажима обуха 1 (рис. 1) при рабочем давлении 8 кг/см<sup>2</sup> создавалась капельная течь (примерно 45-60 капель в минуту) и измерялись параметры шумового спектра. После чего, уменьшением силы зажима создавалась течь, по внешним признакам похожая на течь из свещей, интенсивностью до 1-1,5 литров в минуту. Завершив эти действия, производился демонтаж труб одного диаметра и установка отрезков труб другого, большего диаметра, после чего все действия повторялись опять.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

При установке отрезков труб меньшего диаметра и рабочем давлении рабочей жидкости – морской воды – спектр-анализатором был зафиксирован шумовой спектр, представленный на рис. 2 а. Его максимум достигал 30 дБ в интервале частот от 500 Гц до 1 кГц. В низкочастотной части наблюдается резкий рост интенсивности шумов от 5 до 25 дБ с увеличением частоты в интервале от 100 до 200 Гц. В высокочастотной части плавный спад от 30 дБ на частоте 1 кГц, до 1 дБ на частоте 19,5 кГц. Флуктуации шумового спектра составляют примерно ± 1,5-2,0 дБ на всем его протяжении.

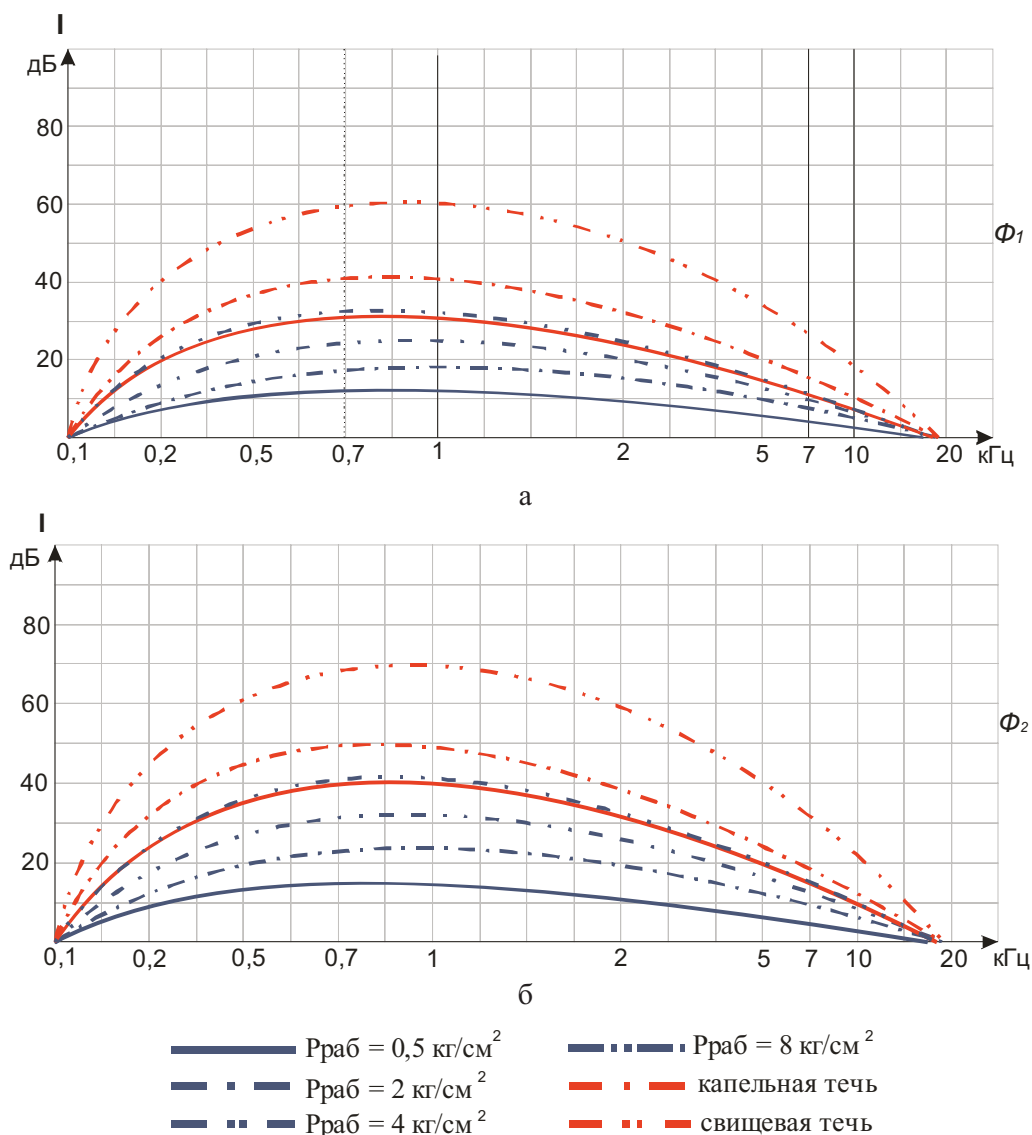


Рис. 2. Графическая интерпретация результатов экспериментов

Уменьшение давления рабочей жидкости в 2 раза до  $4 \text{ кг/см}^2$  привело к уменьшению максимума до 26 дБ. Его максимальные значения теперь сузились и располагаются в интервале от 0,7 до 1 кГц. Низкочастотная часть спектра становится более пологой. Высокочастотная – незначительно изменяет свой наклон. Флуктуации шумового спектра уменьшаются до 1,0-1,5 дБ.

Снижение давления рабочей жидкости еще в два раза, до  $2 \text{ кг/см}^2$  привело к тому, что максимальные значения интенсивности не превышали 19,5 дБ. Максимум спектра стал размытым и определялся в диапазоне от 0,4 до 1,3 кГц.

Уменьшение давления рабочей жидкости до  $0,3\text{-}0,5 \text{ кг/см}^2$  (давление, которое обеспечивало полное заполнение отрезков труб и интенсивный слив) максимум спектра стал ещё более пологим и размытым. Наибольшие значения регистрируются от 130 Гц до 2 кГц и составляют 10-11 дБ.

При повышении давления рабочей жидкости до  $8 \text{ кг/см}^2$  шумовой спектр, регистрируемый спектр-анализатором, принял свою первоначальную конфигурацию. Теперь, уменьшая силу обжима креплением №1, добились из соединения металлической трубы и резинового шланга капельной течи, интенсивность которой в среднем составляла 50-55 капель в минуту. При подобных условиях – нарушения в работе трубопровода – шумовой спектр, регистрируемый пьезоэлектрическим преобразователем, изменился следующим образом. Максимум увеличился до 42 дБ в диапазоне частот от 500 Гц до 1 кГц. В низкочастотной части спектра огибающая спектра стала более крутой: интенсивность шума возрастала с 10 дБ на частоте 100 Гц, до 35 дБ на частоте 200 Гц. В высокочастотной части спектра также произошел рост интенсивности шумов, который постепенно уменьшался с увеличением частоты. Флуктуации шумов составляли 1,5-2,5 дБ во всем диапазоне частот.

На следующем этапе, уменьшая силу обжима крепления №1, из соединения металлической трубы и резинового шланга добились более интенсивной течи, аналогичной течи из свища. Её количественная характеристика составляла 1,1-1,5 литра в минуту. При таком нарушении герметичности конструкции исследуемый спектр шумов изменился следующим образом. Экстремум, равный 58 дБ, регистрировался на частоте около 1 кГц. Огибающие обеих частей спектра (низкочастотная и высокочастотная) стали более выпуклыми. Флуктуации уровней шумов на фиксированных частотах в средней части спектра от 700 Гц до 2 кГц возросли до 3,5-4,5 дБ и постепенно затухали при смещении к началу и концу регистрируемого спектра.

На втором этапе исследований на стенде были смонтированы трубы большего диаметра и соответствующих им размеров шлангов. При давлении рабочей жидкости  $8 \text{ кг/см}^2$  и  $0,5 \text{ кг/см}^2$  спектральные картины (огибающие спектров) выглядели аналогичным образом, как и на первом этапе экспериментов (рис. 2 б). Главное отличие состояло в том, что увеличилось значение экстремумов до 40 дБ при давлении  $8 \text{ кг/см}^2$ , 33 дБ при давлении  $4 \text{ кг/см}^2$ , 25 дБ при давлении  $2 \text{ кг/см}^2$  и 15 дБ при давлении  $0,5 \text{ кг/см}^2$ .

При разгерметизации конструкции изменения огибающей спектра также были похожи на изменения, зафиксированные первым этапом. Капельная течь 50-55 капель в минуту привела к росту интенсивности до 51 дБ (флуктуации 2-4 дБ), а свищевая течь 1,2-1,5 литра в минуту до 68 дБ (флуктуации 3-5 дБ).

## ВЫВОДЫ

Конфигурации огибающей шумового спектра в трубопроводах различного диаметра при одном и том же давлении рабочей жидкости имеют схожий характер. Возникающая капельная и свищевая течь вызывает также аналогичные изменения шумовых спектров. Отличие состоит в величине главного экстремума, который тем больше, чем больше диаметр трубопровода, выше давление рабочей жидкости и интенсивность течи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Грешников В.А.* Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий / В.А. Грешников, Ю.В. Дробот. - М.: Изд-во стандартов, 1976. – 272 с.
2. *Азаренко Е.В.* Неразрушающий контроль циркуляционных трубопроводов на АЭС / Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, М.А. Ляхов, Е.Е. Смычков // 36. наук. пр. СНУЯЭтаП. - Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – Вып. 2(30). – С. 9 – 13.