

Изместьева Виктория Евгеньевна,
студентка магистратуры 1-го года обучения,
научный руководитель – Загретдинов Айрат Рифкатович,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения»,
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Республика Татарстан, Россия

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ ПО АНАЛИЗУ ИХ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Данная статья содержит описание существующих способов измерения давления внутри трубопровода, а также анализ акустического метода, как наиболее допустимого и эффективного из перечисленных способов. Представлен принцип измерения давления согласно акустическому методу и выявлены его характерные особенности. Рассмотрен программный комплекс конечно-элементного анализа ANSYS для численного моделирования и расчета резонансных частот трубопроводов. Представлена схема измерительной установки для проведения лабораторных экспериментов на трубопроводах под давлением.

Ключевые слова: акустический метод, резонансные частоты, давление, трубопровод, датчик вибрации, моделирование, экспериментальная установка.

Введение. Для обеспечения надежности систем энергоснабжения необходимо контролировать параметры транспортируемой среды внутри магистральных трубопроводов.

На данный момент в мире существует большое разнообразие технических способов мониторинга и измерения давления в трубопроводах. В зависимости от способа контроля выделяют:

1) Способ измерения давления, *основанный на применении манометров*, предусматривает отбор давления из точки трубопровода с помощью импульсной трубки.

Недостатками данного способа является:

- низкая достоверность измерения по причине слабой чувствительности датчика;

- из-за сквозных отверстий в стенке трубы понижается эксплуатационная надежность и уменьшается срок службы измерительного устройства.

2) Способ, который основан на измерении разности между электрическим сопротивлением измерительной и компенсационной обмоток тензометрического чувствительного элемента [1].

Недостатками метода являются:

- нелинейность амплитудной характеристики вследствие жесткого заземления мембраны, на которую крепится измерительная обмотка;
- воздействие агрессивных сред на преобразователи электрического типа;
- возможное возникновение утечек транспортируемого продукта по причине наличия резьбового штуцера для присоединения датчика давления;
- отверстия в стенке трубопровода, которые приводят к понижению надежности эксплуатируемого трубопровода.

3) *Акустический* метод.

В магистральных трубопроводах не допускается размещение каких-либо устройств внутри трубы, по причине того, что эти устройства могут создать препятствие движению продукта и способствовать отложениям на поверхности стенок трубы. Поэтому акустический метод является наиболее допустимым для применения при измерении давления.

Акустический метод измерения давления

Согласно акустическому методу принцип измерения давления внутри трубопровода состоит в определении частот собственных резонансов трубы с дальнейшим расчетом давления по формуле, которая устанавливает функциональную зависимость между давлением и частотой резонансных гармоник [2]. Такой способ измерения давления предусматривает установку пьезометрических датчиков вибраций на поверхности трубопровода.

С помощью датчиков в сетевом компьютере регистрируют спектр шумового сигнала, который содержит спектральные составляющие вибраций собственных резонансных частот трубопровода.

Зависимость частоты резонансных гармоник трубопровода от давления может быть описана следующей эмпирической формулой в виде полинома второй степени:

$$P = a \cdot \Delta f + b \cdot \Delta f^2 + c \cdot f_0 (20 - T), \quad (1)$$

где P – измеряемое давление;

a , b , c – градуировочные коэффициенты;

Δf – приращение частоты резонансной гармоники;

f_0 – номинальное значение частоты;

T – температура стенки трубы.

В данной формуле коэффициенты a и b характеризуют крутизну зависимости частоты резонансных гармоник от давления, а коэффициент c – зависимость частоты от температуры [2].

Акустический метод измерения давления обладает рядом преимуществ перед другими способами. Достоинства данного метода состоят в следующем:

- минимальный набор технических средств;
- простота конструкции;
- отсутствие сквозных отверстий в стенке трубы и каких-либо устройств внутри самой трубы. Это повышает эксплуатационную надежность в полном диапазоне влияющих внешних условий и увеличивает точность измерения давления;
- экономичность электропитания за счет установки датчиков пьезокерамического типа.

Методика расчета резонансных частот трубопровода

Оценить влияние температуры поверхности стенки трубы и давления внутри трубопровода на приращение частоты резонансной гармоники по формуле (1) можно с помощью ANSYS – пакета программ для математического моделирования различных физических процессов [3].

Программный пакет ANSYS позволяет моделировать объекты форм разной сложности и решать задачи во многих областях инженерной деятельности, в том числе связанные многодисциплинарные задачи.

В среде программного комплекса ANSYS производится построение геометрической модели объекта – трубопровода [4], задается давление внутри трубы и температура на ее поверхности, то есть создается модель процесса. Затем с применением модального анализа осуществляется расчет собственных частот трубопровода.

Экспериментальная установка.

Результаты модального анализа как теоретической составляющей исследования планируется проверить лабораторными экспериментами на трубопроводах под давлением.

Схема измерительной установки представлена на рис. 1.

Описание установки:

В трубопровод 2 нагнетается жидкость насосом 1, создавая в трубе давление. Молоток 4 в трубопроводе создает свободные колебания. Пьезометрический датчик 3 регистрирует колебания трубы и передает их через фильтр спектра шумов в аналого-цифровой преобразователь (АЦП), в котором сигнал преобразуется в цифровую форму.

После АЦП сигнал поступает в персональный компьютер, где производится анализ полученной информации и расчет внутреннего давления в каждом сечении трубопровода.

Обратный клапан 5 препятствует перетеканию жидкости обратно в насос. Манометр 6 позволяет осуществлять контроль давления в трубопроводе, а задвижка 7 – регулирование давления внутри трубы.

С помощью лабораторных экспериментов будет определена зависимость резонансных частот трубопровода от изменения давления в трубе.

Проведенные натурные и численные эксперименты позволят:

- сделать выводы об эффективности метода акустического контроля давления;

• определить наиболее чувствительные к изменению давления резонансные частоты трубопроводов.

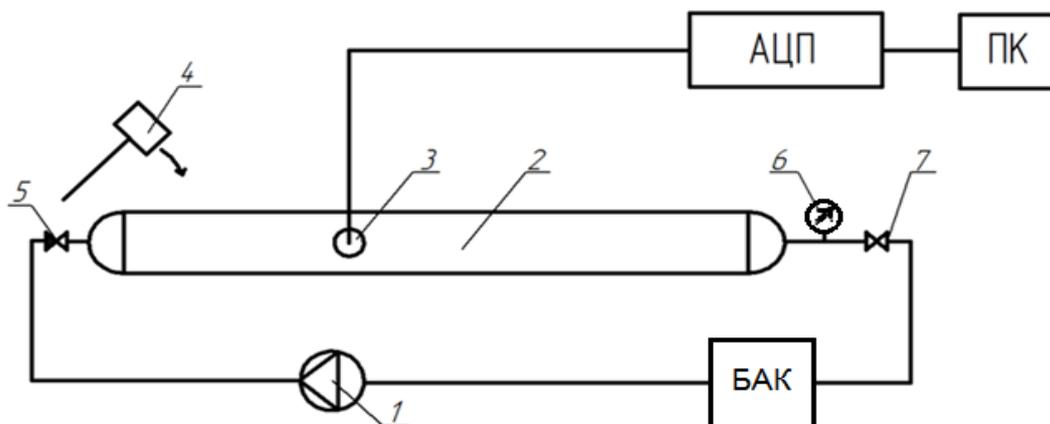


Рисунок 1 – Схема измерительной установки

Заключение.

В статье перечислены основные методы измерения давления внутри трубопровода и определен наиболее допустимый из них, исходя из требований надежности и эффективности эксплуатации трубопроводов. Проведен анализ акустического метода и принципа измерения давления в трубопроводе согласно данному методу.

Представлена формула для определения функциональной зависимости резонансных частот трубопровода и давления. Предложена методика расчета резонансных частот трубопровода с давлением внутри неё. Представлена установка для лабораторных экспериментов с целью проверки и сопоставления данных, полученных при численном эксперименте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. RU 2098782, 10.12.1997 «Способ измерения давления в действующем трубопроводе».
2. RU 2470274, 20.12.2012 «Способ и устройство для измерения давления внутри трубопроводов».
3. Инженерный анализ в ANSYSWorkbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
4. Компьютерное проектирование. ANSYS: [учебное пособие] / М.А. Денисов. – Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2014. – 77 с.