

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ ГАЗА

М.В. Богуш, Э.М. Пикалев, С.А. Толмачев
ООО «Пьезоэлектрик», Ростов-на-Дону, Россия

Ультразвуковые расходомеры жидких и газообразных сред основаны на измерении параметров акустических эффектов при прохождении ультразвуковых колебаний через движущийся поток жидкости или газа [1]. Ультразвуковые расходомеры жидкости выпускаются промышленностью уже более 50 лет [2], однако, освоение ультразвуковых расходомеров газа ведется в течение последнего десятилетия.

Среди ультразвуковых методов измерения объемного расхода можно выделить основных три метода: доплеровский, время-импульсный и корреляционный методы. Метод измерения выбирается в зависимости от типа контролируемой среды.

Важнейшим функциональным узлом ультразвуковых расходомеров являются излучатели-приемники (преобразователи) ультразвуковых волн, характеризующие многие эксплуатационные возможности и технический уровень приборов. Излучатели-приемники чаще всего выполняются на основе пьезокерамических элементов.

Для измерения расхода однофазных (гомогенных) сред лучше всего подходит время-импульсный метод измерения. Этот принцип основан на посылке в акустический канал расходомера ультразвуковых сигналов по потоку и против него, что позволяет исключить из измерения зависимость скорости звука от давления, температуры и физико-химических свойств среды. В этом случае определение объемного расхода сводится к уравнению вида:

$$G = s \cdot \left(\frac{3.14 \cdot D^2}{4} \right) \cdot (T_{\text{противотока}} - T_{\text{по потоку}}), \quad (1)$$

где s – коэффициент пропорциональности; D – диаметр трубопровода; $T_{\text{противотока}}$ – время распространения импульса сигнала против потока; $T_{\text{по потоку}}$ – время распространения импульса ультразвукового сигнала по потоку.

Данный метод обладает высокой точностью измерения и возможностью обеспечения высокого быстродействия расходомеров (время "реакции" на изменения расхода). Недостатком метода является ограничение максимальной скорости измеряемого потока, определяемой из максимально возможного угла сноса излучения при фиксированном расстоянии между преобразователями.

В настоящее время актуальна проблема увеличения диапазона измеряемых скоростей потока допустимых при измерении расхода время-импульсным методом. Очевидным решением описанной проблемы является расширение потока излучаемой энергии.

Целью настоящей работы является анализ диаграммы направленности пьезоэлектрических преобразователей (ПП) акустических волн в газовой среде,

описание теоретических и экспериментальных результатов, а также поиск решений по улучшению технических характеристик ультразвуковых преобразователей. Под диаграммой направленности понимается диаграмма распределения мощности излучения относительно оси симметрии ПП, а ширина диаграммы направленности – это суммарный максимальный угол относительно оси симметрии ПП, при котором амплитуда принимаемого излучения уменьшается в два раза. Исследование диаграммы направленности проводилось на основе ПП 224М, производства ООО «Пьезоэлектрик».

Теоретический анализ модели из двух идентичных ПП, установленных соосно на расстоянии между мембранами 300 мм и разделенных газовой средой, проводился на основе применения метода конечных элементов в рамках программного пакета ANSYS [3], так как аналитические методы для ПП неприменимы. Результаты рассчитывались для работы преобразователей в режиме излучения-приема акустического импульса. Геометрическая модель пары излучатель-приемник состоит из излучателя (вверху) и приемника (внизу) расположенных соосно и направленных навстречу друг другу (рисунок 1 а)). ПП разделены газовой средой (воздух при нормальных условиях), которая задана в виде полушара, центр которого находится в центре излучающей поверхности мембраны. На сферической поверхности задается условие согласованного импеданса, вследствие чего акустические колебания среды не отражаются от этой границы, как бы уходя в бесконечную среду.

На основании результатов, полученных с помощью программы ANSYS, и проведенных экспериментальных испытаниях теоретической модели, построена диаграмма направленности в полярных координатах (рисунок 1 б)).

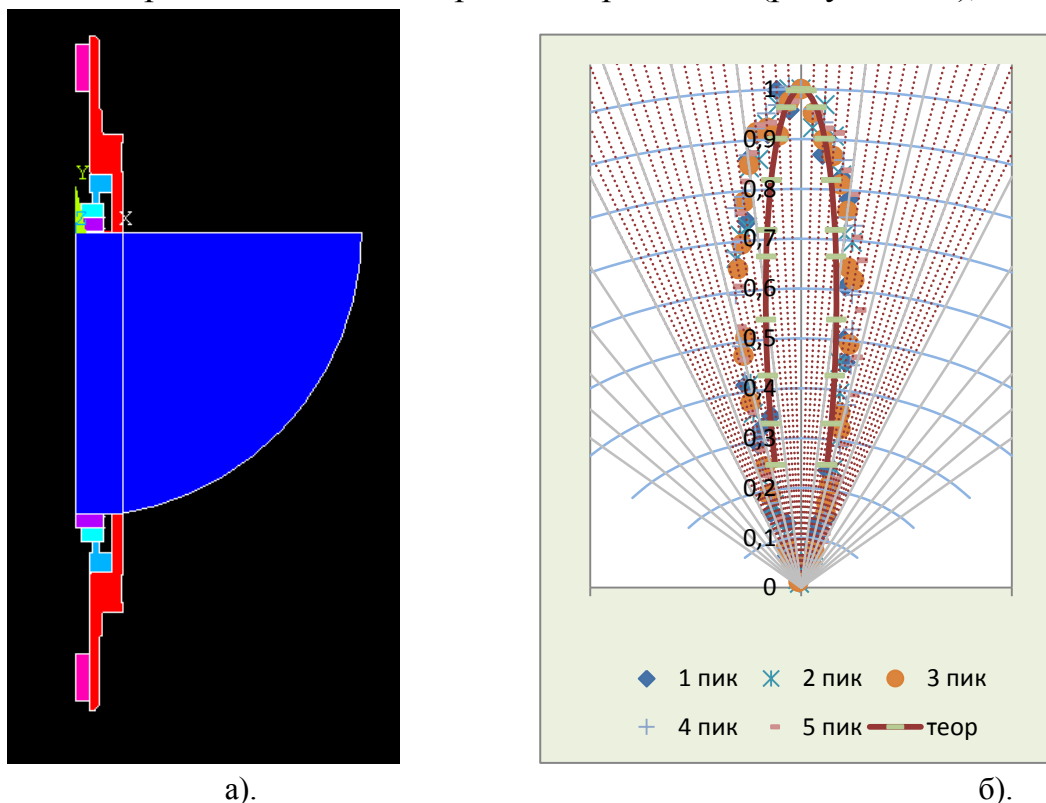


Рис. 1. а). Геометрическая модель пары излучатель-приемник; б). Диаграмма направленности.

По теоретическим расчетам ширина диаграммы направленности на уровне 0,5 составляет порядка 12 градусов, а по экспериментальным данным 15 градусов. Таким образом, максимальная скорость потока по теоретическим данным составляет 44 м/с, а по экспериментальным данным 54 м/с. Тем не менее, максимальная скорость потока снижается при увеличении минимального уровня принимаемого сигнала.

Очевидным способом расширения диаграммы направленности является добавление к ПП акустически рассеивающей линзы. Это решение было проверено теоретическими и практическими экспериментами.

Для теоретического исследования влияния линзы потребовалось изменение геометрической модели, заключающееся в том, что на излучающую в среду мембрану ПП нанесена выпуклая линза радиусом кривизны 35 мм из эпоксидного компаунда и из эколойта. Производился расчет возникающего среднего давления на мембрану приемника. По результатам теоретических расчетов добавление линзы из этих материалов не приносит ожидаемого расширения диаграммы направленности ПП.

Реализация теоретического эксперимента на практике привела к следующим результатам.

- Нанесение выпуклой линзы из эпоксидного компаунда увеличило ширину диаграммы направленности на 1,4 градуса. При этом чувствительность снизилась на 75 %.
- Нанесение выпуклой линзы из эколойта увеличило ширину диаграммы направленности на 1,3 градуса. При этом чувствительность снизилась на 49%.

Таким образом, из полученных результатов следует, что для ПП, работающих в импульсном режиме, нанесение линзы для расширения диаграммы направленности не целесообразно из-за существенного снижения чувствительности ПП, что является неприемлемым для ПП.

С другой стороны, расширение диаграммы направленности ПП с помощью выпуклой линзы возможно при подборе соответствующего материала, позволяющего обеспечить максимальную передачу акустической энергии от мембраны через линзу в среду.

Литература

1. Богуш М.В. Пьезоэлектрическое приборостроение. Т. III. Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации. Изд-во СКНЦ ВШ, Ростов-на-Дону, 2006. 335 с.
2. Кремлёвский П.П. Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1989. 701 с.
3. ANSYS. Theory Ref. Rel. 8.0 / Ed. P. Kothnke/ANSYS Inc., Houston, 2003.