

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ - ПРИЕМНИКИ ДЛЯ ГАЗА

М.В.Богущ, Э.М.Пикалев, НКТБ Пьезоприбор РГУ г. Ростов-на-Дону

Приведены результаты моделирования МКЭ излучателей-приемников для ультразвуковых расходомеров газа и их основные технические характеристики.

Пьезоэлектрические излучатели-приемники [1-3] широко применяются в ультразвуковых расходомерах, принцип действия которых основан на измерении времени прохождения звуковой волны в движущейся среде. Преимущество ультразвуковых расходомеров заключается в возможности измерений в трубах как малого (от 15 мм), так и большого (до 3 м) диаметра, широком динамическом диапазоне (обычно 1:100), высокой точности измерений (менее $\pm 1\%$), беспроливной поверке приборов [1].

В России сертифицированы и выпускаются десятки типов ультразвуковых расходомеров для воды и других жидкостей. Для газообразных сред на большие диаметры труб имеются только опытные образцы. Основная проблема заключается в создании ультразвукового излучателя-приемника, обладающего приемлемыми техническими характеристиками.

Основные технические требования к этому изделию можно сформулировать весьма обобщенно следующим образом:

1) Обеспечить регистрацию приемником информационного сигнала, от акустической волны, прошедшей через газ расстояние до 1-2 м, при подаче на излучатель импульсного или гармонического напряжения разумной величины (например, 50В)

2) Минимизировать отдачу излучения в трубу для исключения помех на приемнике или оптимизировать преобразователи по соотношению сигнал/шум.

3) Преобразователи должны быть обратимыми, т.е. допускать поочередную работу в режиме излучение-прием.

Составными частями этой задачи являются сравнительно низкая рабочая частота (от 50 до 150 кГц) для минимизации затухания ультразвука в газе; согласование преобразователей по акустическому импедансу с газообразной средой; сравнительно низкая добротность (5-10).

Диапазон рабочих температур от минус 50 до 50 °С, диапазон рабочих избыточных давлений от 0 до 2,5 МПа

Для поиска оптимального решения задачи использовался метод конечных элементов (МКЭ) и программный комплекс ANSYS [4-6]

Геометрическая модель преобразователя показана на рис. 1. Преобразователь состоит из чувствительного элемента (ЧЭ), включающего пьезоэлемент (ПЭ) и протектор, установленных в корпусе и опирающихся на втулку в виде кольца. В корпусе размещен также гермопереход и контакты для подключения к линии связи. Полость между ЧЭ и корпусом

заполнена эластичным компаундом.

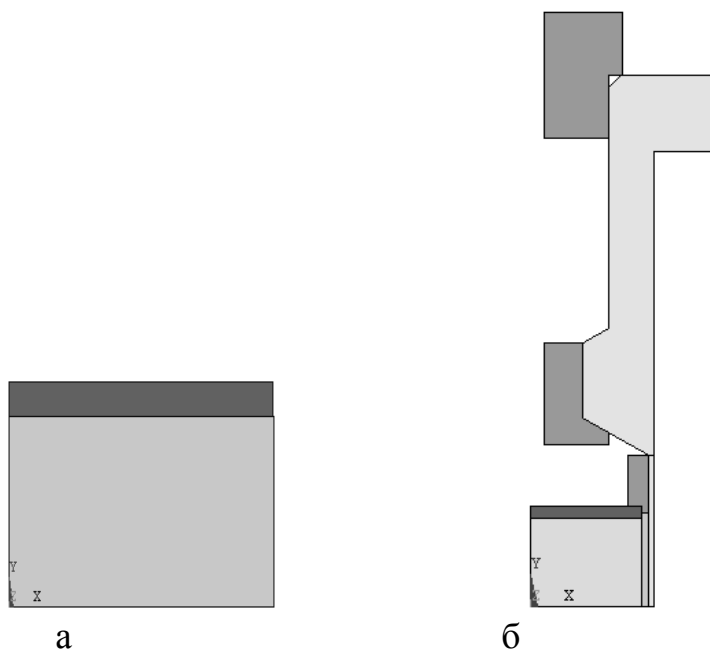


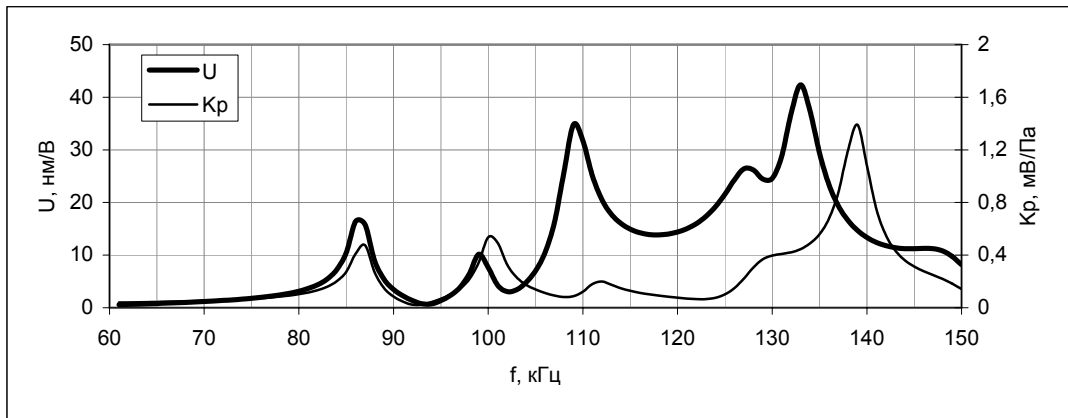
Рис. 1 Геометрическая модель ЧЭ (а) и преобразователя в целом (б).

Первый этап работы заключался в исследовании амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) только ЧЭ, рис 1а. Затем исследовался преобразователь в целом, рис. 1б. В силу осевой симметрии рассматривается только половина изделия, и задача сводится к двумерной. Геометрическая модель содержала около 6000 конечных элементов.

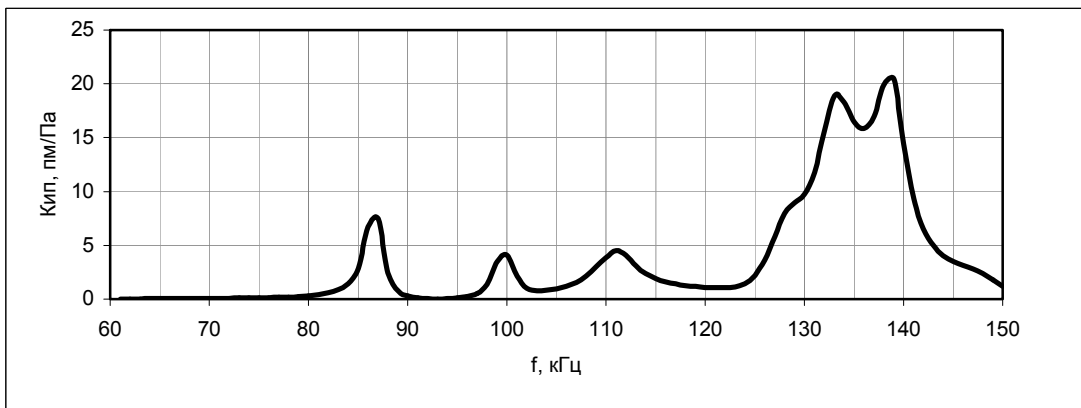
Расчеты АЧХ тока ЧЭ показали, что в интервале от 50 до 150 кГц наблюдается 5 резонансов различных мод колебаний со следующими частотами: 1) 91.9, 2) 104.1, 3) 112.9, 4) 131.6, 5) 137.7 кГц. Экспериментальная проверка АЧХ тока ЧЭ показала также наличие 5 резонансов в этом интервале частот и характером амплитуд близких к расчетным. При этом экспериментальные частоты составили: 1) 87, 2) 104, 3) 112, 4) 132, 5) 138 кГц. Отличие численных и опытных данных для первой резонансной частоты тока составило около 5%, для последующих - менее 1%.

Затем расчетным путем исследованы АЧХ перемещений центра протектора, напряжения, генерируемого ПЭ, и произведение этих величин, рис 2 а, б. Амплитуда перемещений U характеризует интенсивность излучения, напряжение на электродах при единичном давлении K_p – эффективность приемника, а их произведение $K_{ин}$ - коэффициент, пропорциональный удельной чувствительности пары излучатель – приемник, В общем случае АЧХ преобразователя для излучения и приема акустической волны не совпадают. Удельная чувствительность имеет максимумы на всех резонансах, а наибольшее значение достигается на

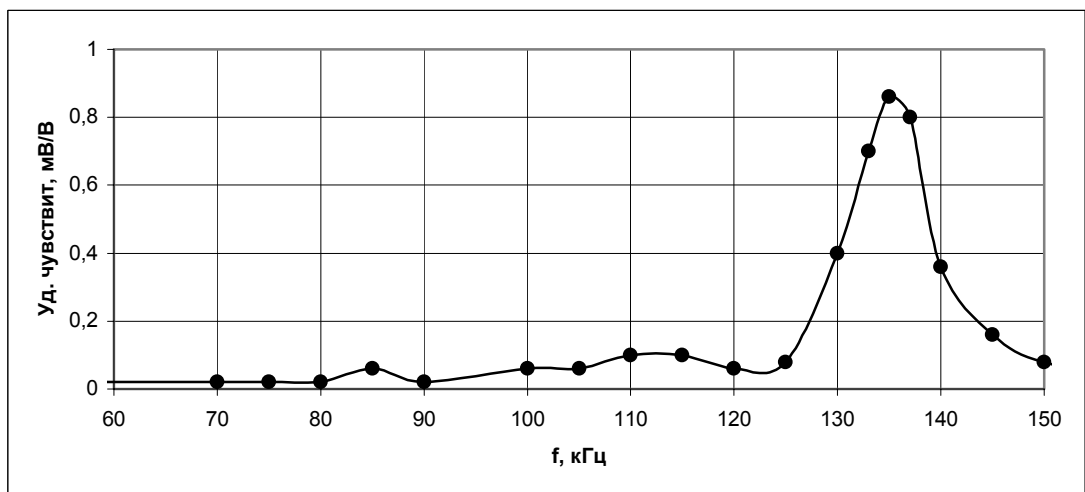
частотах 133 -138 кГц. Отметим, что при расчетах варьировалась также толщина протектора до получения оптимальной АЧХ удельной чувствительности.



а



б



в

Рис. 2. АЧХ перемещений протектора излучателя U , коэффициента преобразования переменного давления в напряжение приемника K_p и удельной чувствительности излучатель – приемник $K_{сп}$; а, б – расчет, в – эксперимент.

Экспериментальная проверка подтвердила, что эффективность к излучению и приему ЧЭ является наибольшей на частоте около 136 кГц, рис 2 в. Удельная чувствительность пары преобразователей на этой частоте на расстоянии 0,3 м составила в среднем 0,8 мВ/В. Добротность - около 20. Наблюдаются также незначительные размытые пики вблизи частот 85, 100 и 112 кГц.

По мере удаления преобразователей друг от друга удельная чувствительность снижается. На расстоянии 1 м при напряжении на излучателе 50В, выходной сигнал приемника составляет около 10 мВ и вполне отличим от шумов.

Формы перемещений преобразователей на различных частотах показаны на рис. 3

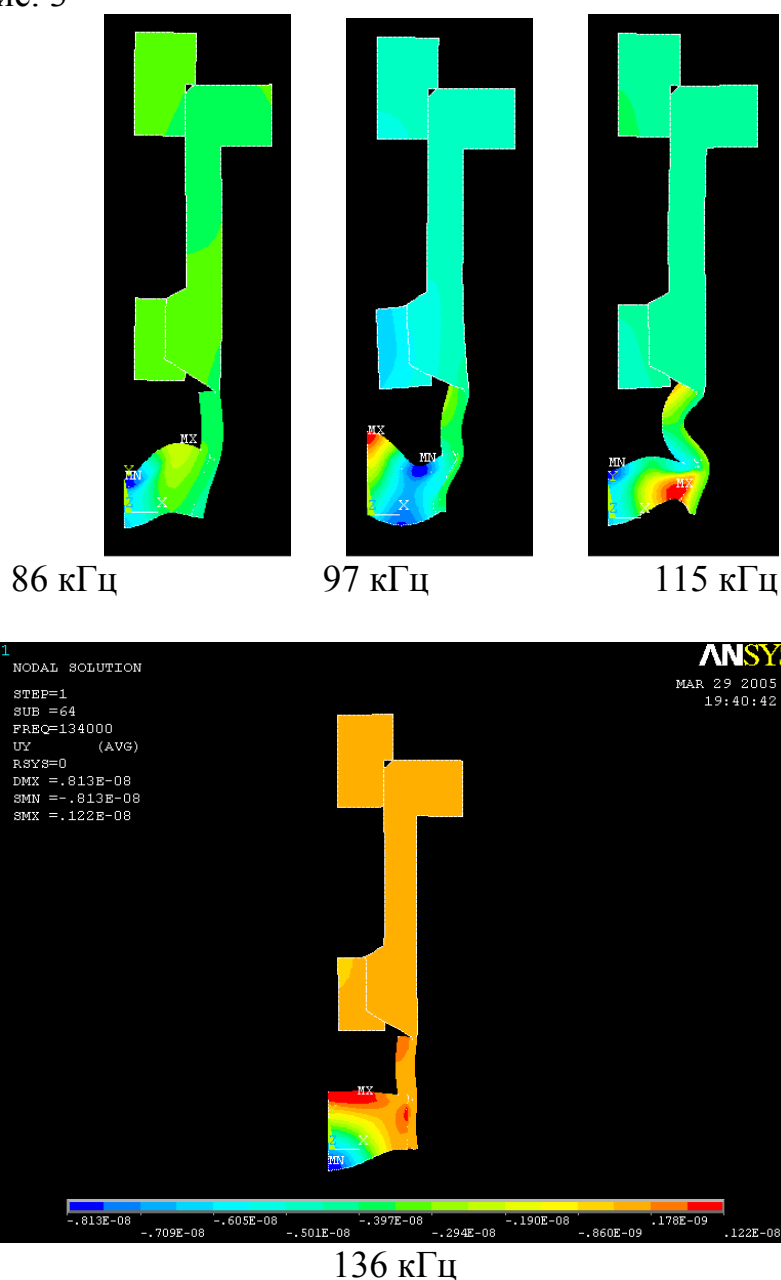


Рис. 3.30. Формы перемещений преобразователя на различных резонансных частотах.

На частотах 86 и 115 кГц наблюдаются знакопеременные перемещения излучающей поверхности. Поэтому эффективность излучения невелика. На частоте 97 кГц происходят интенсивные перемещения ПЭ, но не протектора. Как будто излучение направлено внутрь преобразователя. Видны также заметные колебания корпуса, что неизбежно сопровождается передачей энергии через закрепленный фланец в трубу и далее на приемник, минуя газовую среду.

В то же время выбранная рабочая частота 136 кГц является оптимальной, как с точки зрения получения максимального излучения, так и с точки зрения минимизации помехи. На этой частоте заметных деформаций корпуса не происходит.

При увеличения избыточного давления удельная чувствительность возрастает. Это объясняется повышением плотности газа и улучшением согласования акустического импеданса преобразователей со средой. Преобразователи устойчиво работают при избыточных давлениях от 0 до 2,5 МПа.

Изменение резонансной частоты пары преобразователей от температуры в интервале от минус 50 до 60°С составляет $\pm 5\%$, а удельной чувствительности до минус 50%. Заметные изменения характеристик от температуры, по-видимому, обусловлены изменением свойств материала протектора. Тем не менее, если отслеживать частоту резонанса преобразователей, то уходы чувствительности можно минимизировать.

Внешний вид преобразователей показан на рис.4, а основные технические характеристики приведены ниже [3].



Рис. 4 Внешний вид преобразователей 223.

Основные технические характеристики преобразователей 223
 Удельная чувствительность в воздухе на расстоянии 0,3 м, мВ/В,
 не менее. 0,7
 Электрическая емкость, пФ, не менее 1350

Сопротивление изоляции, Ом, не менее	109
Резонансная частота, кГц	137 ± 3
Максимальное рабочее давление, МПа	2,5
Диапазон рабочих температур, °С	от минус 50 до 50
Габаритные размеры, мм, не более	19x29x55
Масса, г, не более	90

На основе этих преобразователей тюменским предприятием ЗАО «Даймет», г.Тюмень создан, сертифицирован и прошел успешные эксплуатационные испытания прибор для контроля расхода сжигаемого попутного газа в факелах нефтепромыслов.

Литература:

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества.- Л.: Машиностроение, 1989.- 701 с.
2. Ультразвуковые расходомеры. Каталог фирмы “Panametrics” США. 1999 г. 40 л.
3. Средства измерения давления, уровня, расхода, веса и температуры. Каталог продукции, НКТБ «Пьезоприбор» РГУ и ООО «Пьезоэлектрик», г.Ростов-на-Дону, 2003 - 74с.
- 4 Г. Стренг, Дж. Фикс. Теория метода конечных элементов. М., Мир, 1977, с. 349
5. Наседкин.А.В. Моделирование некоторых типов задач термоэлектроупругости в ANSYS. Сборник трудов четвертой конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GMBL, М. 2004, с311-315.
6. ANSYS. Theory Ref. Rel. 8.0. Ed. P. Kothnke/ANSYS Inc. Houston, 2003.