ISSN 2181-3187

РАЗРАБОТКА ЕМКОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ И ЕГО СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А.Т.Рахманов

Ташкентский государственный

технический университет

им. **И.Каримова**

Аннотация. Разработан емкостной преобразователь для измерения давления звуковых колебаний и изучены его статические характеристики. Установлены, что на точность измерения звукового давления существенно может влиять нестабильность частоты звукового генератора, так как для предотвращения этого явления внутренние стенки акустического радиометра снабжены звукопоглощающем материалом, который поглощает отраженные от стенки звуковые колебания. На основании экспериментальных исследований и измерений изучены основные статические характеристики разработанного емкостного преобразователя для измерения давления звука и получены статическое уравнение, которое довольно хорошо описывает процесс преобразования звуковых колебаний в электрический сигнал.

Ключевые слова: измерение, преобразователь, радиометр, статические характеристики, звукопоглощающий материал, емкостные электроды.

В мире на сегодня в интенсивно развивающемся направлении физики звука и твёрдых тел большое внимание уделяется одному из перспективных направлений разработке акустических измерительных преобразователей для диагностики параметров сред и различных объектов. В этом аспекте одной из важных задач является разработка акустических преобразователей различных

ISSN 2181-3187

сред с улучшенными функциональными характеристиками на основе модифицированных акустических элементов.

Анализ метрологических характеристик, достигнутых у современных акустических и гидроакустических приборов, и сравнение их с расчётными возможностями таких приборов [1-4-12] показывают, что ещё значительные резервы не использованы и это, особенно, касается самих первичных акустических преобразователей. В частности, расчётный порог чувствительности для акустических приборов составляет 0,01-0,001 Pa, а относительная погрешность может быть уменьшена до 10-5. Эти величины только частично достигнуты в современных приборах, и их полная реализация требует проведения исследований [6-8-11].

Емкостный метод получения и преобразования информации о различных электрических величинах издавна привлекает к себе внимание исследователей благодаря своим достоинствам. В области теории и практики акустических измерительных преобразователей физических величин известен значительный вклад таких исследователей, как Н.П.Заграй, В.Н.Тюлин, А.И.Кондратьев А.И., А.Ф.Зацепин, И.Н.Ермолов, Н.П.Алешин и У.Ф.Кретов, положивших начало разработке емкостных измерительных средств для акустических величин, создавших научные школы и обеспечивших разработку серийных приборов. Получены некоторые научно-практические результаты по разработке емкостных и акустических преобразователей различных величин на основе емкостных и акустических элементов, в частности, научных центрах Rodan Industries Ins, Texas Instruments (США) развита технология изготовления акустических преобразователей звуковых колебаний на основе пьезокерамических элементов и магнитных взаимосвязанных обмоток, функционирующих труднодоступных объектах для измерения звука [3-7-10].

В настоящее время получены научные и практические результаты по разработке емкостных преобразователей различных физических величин и

ISSN 2181-3187

параметров звука сравнительно дешевой технологией на основе емкостных чувствительных элементов с оптимальными параметрами и отвечающих современным требованиям информационно-измерительных систем по точности и линейности статической характеристики.

Вопросам исследования теоретических и практических задач по разработке акустических преобразователей для измерения параметров звука и созданию высокоэффективных систем контроля параметров различных объектов с учётом дестабилизирующих факторов посвящены работы ряда учёных: Шейнман И.Л., Ильин Д.В., Лебедев А.В., Бредихин В.В. и др. Ими разработаны основные аспекты технической физики и в области акустических измерений, а также диагностики параметров объектов [2-5-9].

Из изложенного выше следует, что своего решения требуют проблемы разработки информационно-измерительных и технологических аспектов акустических преобразователей на основе магнитных, пьезокерамических и емкостных элементов, научно-обоснованные предложения по разработке математических моделей, методов их проектирования и метрологических характеристик, рекомендаций по методам коррекции выходных сигналов и оценки погрешностей измерений.

Целью исследования является разработка емкостного преобразователя для измерения давление звука на базе акустического радиометра и изучение его метрологических характеристик.

Радиометры малых размеров являются частотно-зависимыми и применяются только на сравнительно низких частотах. На высоких частотах в качестве измерительных преобразователей используются преимущественно диски и пластины из кварца или пьезокерамического материала, причем излучение и прием производятся в районе частот механического или электрического резонанса, соответствующего толщине пластины.

ISSN 2181-3187

Нами разработан емкостный преобразователь для измерения давления звуковых колебаний на базе радиометра в виде диска, чувствительный элемент которого состоит из подвижного 7 и неподвижного 6 электродов, образующих конденсатор, являющийся, в свою очередь, реактивным элементом колебательного контура высокочастотного генератора (рис.1).

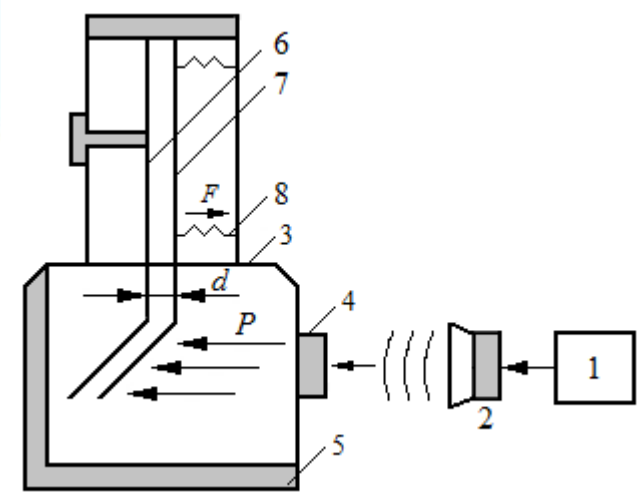

Рис.1. Конструкция и основные элементы емкостного преобразователя звуковых колебаний

Основные конструктивные элементы емкостного радиометра: 1-звуковой генератор; 2-излучатель звука; 3-корпус; 4-звукопрозрачное окно; 5-звукопоглощающий материал; 6-неподвижный электрод; 7-подвижный электрод; 8-тонкая пружина, которая предназначена для возвращения подвижного емкостного электрода на исходное положение.

Под воздействием звуковой радиационной силы подвижная пластина перемещается, изменяя емкость, и, тем самым, частоту колебаний высокочастотного генератора. Изменение частоты преобразуется преобразователем «частота-напряжения», где сигнал в виде постоянного напряжения поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) с жидкокристаллическим индикатором.

ISSN 2181-3187

Изменение емкости ΔC конденсатора, состоящих из плоских электродов, определяется выражением

$$\Delta C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{\Delta d}, \quad (1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость воздуха; S- площадь электродов; d- расстояние между электродами; Δd – изменение расстояние под действием звукового давления; ε_0 – электрическая постоянная.

Изменение емкости ΔC конденсаторного преобразователя звуковых колебаний сопровождается одновременным изменением реактивного сопротивления преобразователя, что определяется выражением в виде

$$\Delta R_c = \frac{1}{2\pi\omega\Delta C}, \quad (2)$$

С учетом уравнение (1), можно получить окончательное выражение по изменению реактивного сопротивления преобразователя в виде

$$\Delta R_c = \frac{\Delta d}{2\pi\omega\varepsilon\varepsilon_0 S}. \quad (3)$$

На рис.2 представлена структурная схема измерительного тракта емкостного преобразователя для измерения давлению звуковых колебаний с использованием радиометра, имеющий плоские емкостные электроды.

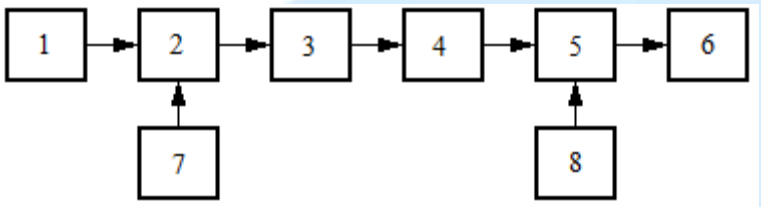

Рис.2. Структурная схема измерительного тракта емкостного преобразователя звуковых колебаний

ISSN 2181-3187

Основные элементы измерительного тракта: 1-акустический емкостный преобразователь звуковых колебаний; 2-генератор высокой частоты; 3-преобразователь частота-напряжения; 4-операционный усилитель; 5-аналого-цифровой преобразователь; 6-жидкокристаллический индикатор; 7-однополярный источник постоянного напряжения, 9 В; 8-двухполярный источник постоянного напряжения, 5 В.

Под воздействием звуковой радиационной силы подвижная пластина 3 перемещается, изменяя емкость, и, тем самым, частоту колебаний высокочастотного генератора. Изменение частоты преобразуется преобразователем «частота-напряжения», где сигнал в виде постоянного напряжения поступает на вход аналого-цифрового преобразователя, функционирующий с жидкокристаллическим индикатором.

Для измерения звукового давления использован тоновый звуковой генератор, излучающий стабилизированные звуковые колебания с частотой 10 кГц. Изменения выходных сигналов емкостного преобразователя в зависимости от давления звукового колебания представлены в табл.1.

Таблица 1

№	x_i, P, $Па$	y_i, U, $В$	x_i^2	y_i^2	$x_i.y_i$
1	5	0,12	25	0,0144	0,6
2	10	0,25	100	0,0625	2,5
3	15	0,38	225	0,1444	5,7

ISSN 2181-3187

4	20	0,5	400	0,25	10
5	25	0,6	625	0,36	15
6	30	0, 75	900	0,5625	22,5
7	35	0,88	1225	0,7744	30,8
8	40	1,0	1600	1,0	40
9	45	1,13	2025	1,2769	50,85
10	50	1,25	2500	1,5625	62,5
11	17	0,39	289	0,1521	6,63
12	42	1,1	1764	1,21	46,2
	∑ 334	8,35	11678	7,37	293,28

Для получения статической характеристики емкостного акустического преобразователя экспериментальные результаты обработаны с использованием метода наименьших квадратов. Постоянные коэффициенты статического уравнения определяются выражениями в виде

ISSN 2181-3187

$$a=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i^2\sum_{i=1}^{n}y_i-\sum_{i=1}^{n}x_i\sum_{i=1}^{n}x_i\,y_i}{n\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2};\qquad b=\frac{n\sum_{i=1}^{n}x_i y_i-\sum_{i=1}^{n}x_i\sum_{i=1}^{n}y_i}{n\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2};$$

Средняя квадратическая погрешность прямой линии, его параметров и коэффициент корреляции определяются из следующих выражений:

$$S_a=\sqrt{\frac{S_y^2\cdot\sum_{i=1}^{n}x_i^2}{G}};\quad S_b=\sqrt{\frac{S_y^2\cdot n}{G}}.\quad R_k=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i\cdot y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}x_i^2\cdot\sum_{i=1}^{n}y_i^2}}.$$

$$S_y=\sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{n}\left[y_i-(a+bx_i)\right]^2}.$$

При этом статическая характеристика емкостного преобразователя определяется в виде $y(U)=f(P)$ или y=a+bx. С учетом значения a ва b получим линейную уравнениию $y=0,0255\cdot x-0,0155$. Для проверки достоверности полученного статического уравнения, допустим при x=40 функция принимает значение y=1,0045, что очень хорошо согласуется с экспериментом.

На основании экспериментальных и расчетных данных производим статическую характеристику акустического преобразователя (рис.3).

ISSN 2181-3187

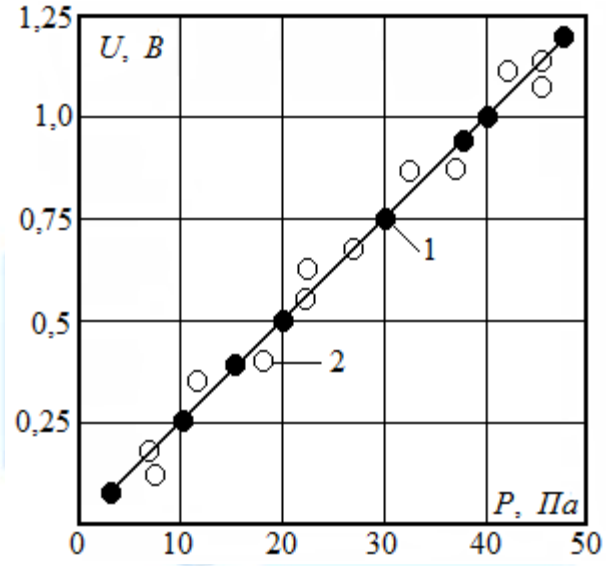

Рис.3. Статическая характеристика емкостного преобразователя звуковых колебаний

1-расчетные; 2-экспериментальные.

Расчетные данные показывают, что средние квадратические погрешности, соответственно, составляет Sa=0,0235, Sb=0,0323, Sy=0,0235 и коэффициент корреляции - 0,9718.

Заключение. Разработан емкостной преобразователь для измерения давления звуковых колебаний и изучены его статические характеристики. Установлены, что на точность измерения звукового давления существенно может влиять нестабильность частоты звукового генератора, так как для предотвращения этого явления внутренние стенки акустического радиометра снабжены звукопоглощающем материалом, который поглощает отраженные от стенки звуковые колебания, что снижаются систематические погрешности. На основании экспериментальных исследований и измерений изучены основные статические характеристики разработанного емкостного преобразователя для измерения давления звука и получены статическое уравнение, которое довольно хорошо описывает процесс преобразования звуковых колебаний в электрический сигнал.

ISSN 2181-3187

Литературные источники

1. Рахманов А.Т. Методы и средства измерения (Акустические измерения): Учебник, Ташкент, Изд-во “Наука и образование”, 2022. - 488 с.

2. Анциферов С.С., Афанасьев М.С. Основы теоретической метрологии. Учебное пособие, Икар, 2012.-208 с.

3. Звукоизоляция и звукопоглощение: Учебное пособие/ Под ред. Г.А.Осипова, В.Н.Бабылева. М.: АСТ, 2004.- 344 с.

4. Ф. Ньюэлл. Звукозапись. Акустика помещений: Англия, Моана, 2002. -177 с.

5. Информационно-измерительная техника и электроника//Под ред. Раннева Г.Г.-М.: Академия, 2007.-511 с.

6. Лебедев А.В. Использование метода линейного прогнозирования в ультразвуковой спектроскопии горных пород/Акустический журнал. 2002. №3. С. 381-389.

7. Боббер Р. «Гидроакустические измерения», М. – 2005.-178 с.

8. Сташкевич К И., Таранов А.Л. Гидроакустические измерения в океанологии. М.-1999. -180 с.

9. Чертов А.Г. Физические величины.-М.: Высшая школа, 1990. – 335 с.

10. Власов А.Д., Мурин Б.П. Единицы физических величин в науке и технике: Справочник. –М.: Энергоатомиздат, 2006. – 176 с.

11. Кузнецов Л.А. Акустика музикальных инструментов: Справочник: - М.: Легпромбытиздат, 2003.-365 с.

12. Лебедев А.В. Использование метода линейного прогнозирования в ультразвуковой спектроскопии образцов горных пород//Акустический журнал. - 2002. 48.- №3. -С. 381-389.

ISSN 2181-3187

13. Handbook of Noise and Vibration Control/ Ed. Malcolm J.Crocker. N.Y.: Johm Wiley and Sons, 2007.- 410 p.

14. Щевьев Ю.П., Белоусов А.А. Аналитические методы расчета шумозашитных конструкций. СПб.: Политехника, 2002.-189 с.