# **Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Техническое задание | 3 |
| 2. Выбор конструкции и материала преобразователя | 4 |
| 3. Расчет элементов излучателя | 9 |
| 3.1. Выбор материала и конструкции | 9 |
| 3.2. Расчет параметров преобразователя | 10 |
| 3.3. Расчет параметров ПЭ преобразователя | 13 |
| 3.3.1. Расчет энергетических характеристик преобразователя | 13 |
| 4. Конструкция преобразователя | 17 |
| Литература | 18 |

# **1. Техническое задание**

Необходимо выбрать конструкцию и материал преобразователя, который работает в воздушной среде в импульсном режиме, способен излучать большую удельную мощность в диапазоне частот 25-45 Кгц.

1. **Выбор конструкции и материала преобразователя**

Чтобы реализовать данные условий целесообразно использовать биморфный преобразователь, работающий на принципе изгибных колебаний, данный излучатель способен работать на высоких частотах и излучать большую удельную мощность.

Простейший биморфный элемент представляет собой две склеенные пьезоэлектриче­ские пластины, свободно опертые по периметру (рис, 1а). Поскольку знак деформации (сжатие или растяжение) зависит от полярности электрического напряжения, то электроды мож­но соединить так, что под действием переменного напряжения одна пластина будет стремиться растягиваться, а другая — сжи­маться, в результате создается изгибающий момент и пластины будут изгибаться (рис. 1,а).

Поперечные колебания изги­ба дают возможность получить малогабаритную колебательную систему и преобразователь в це­лом. На рис. 1,6показан дис­ковый пластинчатый преобразователь, состоящий из металлического диска 1 (для упрочнения) и двух приклееных к нему круглых пьезобиморфных пластин 2; колебательная система помещена в корпус 3, нижняя пластина – в заливочную массу 4.

***Принцип действия.*** Для возбуждения колебаний изгиба ме­ханической системы в режиме излучения необходимо создать в ее поперечных сечениях изгибающие моменты. Для обеспечения режима приема надо соединить электроды таким образом, чтобы именно механические напряжения, вызванные деформациями из­гиба пластин, преобразовывались в электрические сигналы.

Этим требованиям отвечают механические колебательные си­стемы в виде биморфных элементов, состоящих из разнородных пластин, жестко связанных плоскостями, и отличающихся элек­трическими или механическими свойствами. Если в одной из пластин создать напряжения сжатия Т, укорачивающие ее дли­ну, одновременно в другой—напряжения растяжения, растяги­вающие ее, то возникнут изгибающие моменты М относительно срединной плоскости пластин (рис. 1, а).

При приеме под действием падающей акустической волны биморфный элемент изгибается на несущих опорах и в пьезокерамических пластинах возникают механические напряжения Т, преобразуемые ими в электрические сигналы (рис. 2,б).

Если для создания механических колебаний (или преобразо­вания механических напряжений в электрические сигналы) ис­пользуют пьезоэлектрические пластины, электроды в биморфном элементе надо соединить определенным образом. При этом необ­ходимо учитывать взаимные направления полей первоначальной поляризации пластин (вектор Ео), возникающих механических напряжений -(Т) и напряженности внешнего рабочего электриче­ского (вектор Ео).

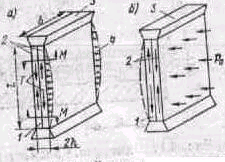


Рис.1. Схема конструкции преобразователя работающего на колебаниях изгиба

Варианты соединения электродов в биморфном элементе, об­разованном пьезокерамическими пластинами, приведены на рис. 4.16, а, б. Полярность электрических зарядов, возникающих на электродах *3,* показана условно. Отличия в электрических свойствах соединяемых пьезопластин создаются выбором взаим­ных направлений полей поляризации *Еу к* рабочего *Е.* Если на­правления вектора £o и мгновенное значение вектора *Е* в одной из пластин совпадают, то в ней возникнут механические напря­жения одного направления (например, сжатия), в этот момент в другой пластине, где *Ец* и *Е* направлены встречно, возникнут напряжения противоположные (растяжения). Этим и обусловлено создание изгибающего момента в поперечных сечениях пластин.

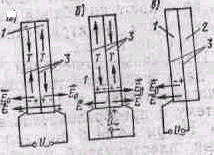


Рис. 2. Способы соединения пластин в преобразователе

Па рис.2,а показан биморфный элемент в виде соедине­ния двух пластин, одна (1) из которых пьезоактивна, другая (2) изготовлена из пассивного материала, например металла или ди­электрика, Изгибающий момент в таком биморфном элементе возникает при создании электрического поля (и деформации) в пластине *1,* при этом пластина *2,* называемая подложкой, не из­меняет своих размеров. В режиме приема деформация изгиба пластины / вызывает механические напряжения, которые приво­дят к появлению разности потенциалов на электродах *3.* Подоб­ную колебательную систему называют *полупассивной.*

Таковы физические предпосылки создания механических ко­лебательных систем, реализующих принцип действия пластинча­тых преобразователей.

На практике для наибольшей эффективности пластинчатых преобразователей стремятся создать условия закрепления би­морфных элементов, близкие к свободному опиранию краев.

Так, для одного и того же прямоугольного биморфного элемента при двух свободно опертых краях и двух свободных собственное чис­ло для низшей частоты *Xi =* 3,14, а при двух жестко заделан­ных краях—*Xi* -= 4,73, что соответствует различию их резонанс­ных частот в (4,73/3,14)2 = 2,27 раза.

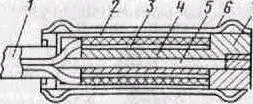
Чтобы рассчитать электроакустические характеристики и па­раметры пластинчатого преобразователя с помощью эквивалент­ной электромеханической схемы необходимо знать его эквива­лентные параметры: массу мэкв, гибкость Сэкв и КЭМТ *N.* Их определяют в каждом конкретном случае через формы колеба­ний, размеры и упругие параметры биморфных элементов.

***Круглые преобразователи.*** Основные элементы пластинчатых преобразователей подобного типа — круглые в плане биморфные элементы, работающие на поперечных колебаниях изгиба.

Реальные конструкции круглых пластинчатых преобразова­телей содержат кроме механических колебательных систем — пьезокерамических биморфных элементов еще опоры, с кото­рыми эти элементы соединены, герметизирующие металлические мембраны и покрытия, электроизоляционные прослойки и элек­трические вводы.

На рис. 3 показана широко распространенная конструкция круглого пластинчатого преобразователя-приемника. Для реали­зации условий свободного опирания биморфных элементов коле­бательная система выполнена симметричной. Биморфные эле­менты собирают из пьезокерамических пластин *2,* которые через электроизоляционную прослойку *3* склеивают эпоксидным клеем с металлической подложкой *4.* Подложку вместе с круглым кор­пусом—опорой 7 изготавливают в виде одной детали. Затем две таких детали сваривают по периметру, а внутренний объем *б* между ними образует воздушный экран. К наружным плоско­стям пьезокерамических пластин приклеивают элементы элек­троизоляции и мембраны *6.* Ввод—кабель 1 приваривают и при-вулканизовывают к корпусу. Заключительная операция изготов­ления преобразователя—приварка торцов мембран к круглому корпусу по периметру.

Рис. 4. Поперечное сечение круглого симметричного преобразователя



Малогабаритные конструкции преобразователей выполняют более простыми. Кольцевые опоры изготавливают методом прес­сования, например из пресс-по­рошка АГ-4с. К опорам симметрично приклеивают биморфные элементы. Герметизируют конструкцию заливкой ком­паундом или с помощью резинового чехла.[[1]](#footnote-1)\*

## Расчет элементов излучателя

**3.1. Выбор материала и конструкции**

Для данного излучателя подойдет материал типа ЦТСНВ – 1, выбор его обусловлен, большим значением d31, данный параметр влияет на эффективность преобразователя.

### Таблица 3.1

#### Значения постоянных пьезоэлектрического материала ЦТСНВ-1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Постоянная | | EEю1\*10-11,Па | | SE11\*1012,м2/Н | СЕ1,м/с | | |  | d31,1010 | K31 |
| Значение | | 0,62 | | 16,3 | 2900 | | | 2200 | 2 | 0,34 |
| Постоянная | tg δ, % | | ν | | | QM |
| Значение | 1,9 | | 0,38 | | | 60 |

Материал для пассивного элемента выбираем из условия что он должен выдерживать большие нагрузки. Для этого подойдет титановый сплав.

Таблица 3.2

Значения постоянных пассивного материала ЦТСНВ-1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Постоянная | ρ, кг/м3 | Сзв, м/с | ЕЮ, Па | ν |
| Значение | 4500 | 6000 | 1,1\*10-11 | 0,35 |

**Эскиз преобразователя**



1 – пьезокерамическая пластина;

2 – пластина из титановоо сплава.

Данный преобразователь работает на изгибные колебания.

* 1. **Расчет параметров преобразователя**

Резонансная частота однородной пластины совершающей колебания изгиба определяется как:

3.1



где с – скорость звука в пластине, а – радиус пластины.

Отсюда можно рассчитать толщину пластины:

3.2



Так как пластина полуактивная, то ее толщина будет меньше, потому что скорость звука в титане больше скорости звука в ЦТСНВ-1.

Толщину титановой пластины возьмем tт=0.5\*10-3м.

Тогда можно рассчитать резонансную частоту такой системы, приняв ее за многослойную.

1. Определяем положение нейтрали Z0, в которой при изгибе механическое напряжение равно «0»:

3.3



где EE1, EЮ- модули упругости для ПК и титана соответственно.



2. Определяем приведенные коэффициенты Пуассона

3.4



νK, νT – коэффициенты Пуассона для ПК и титана.



3. Определяем приведенную приближенную жесткость



D=41.997 H\*м

Площадь излучателя равна S=π⋅a2=3,14⋅(5⋅10-2)2=0,78⋅10-4 м2.

Определим массу составленной пластины M=π⋅a2⋅(ρk⋅tk+ρт⋅tт)=0.09 кг.

**Определим резонансную частоту**.



3.5

Резонансные частоты пластинчатых преобразователей зависят от геометрических соотношений и от упругих постоянных материалов биморфных элементов.

где α- коэффициент, зависящий от способа закрепления пластин[[2]](#footnote-2)\*.

Наш излучатель по контуру закреплен с помощью резиновой полосы, тогда α=0,22.



, резонансная частота собранного преобразователя.

Видно что разброс составил 6176 Гц.

**3.3. Расчет параметров ПЭ преобразователя**

Расчет данных параметров производим исходя из рассчитанных геометрических расчетов выполненных до этого. Для выбора рассчетных формул необходимо знать отношение h/a (толщины пластины к радиусу).

h/a=(tk+tT)/a=0.293<0.3

При выполнении данного условия пластина называется тонкой и поэтому дальнейший расчет производится по следующим формулам:

Данные расчеты произведенны для нахождения эквивалентных параметров излучателя. Здесь Сэкв-эквивалентная гибкость, mэкв- эквивентная масса.[[3]](#footnote-3)\*\*



**3.3.1. Расчет энергетических характеристик преобразователя**

Для этого необходимо задаться значением удельной мощности, которая для преобразователя такого типа примерно равна Wак.уд=40 Вт/м, тогда акустическая мощность определяется по формуле Wак= Wак.уд⋅S=40⋅4,53⋅10-3.



Рис. 5. Эквивалентная схема преобразователя

С0 - электрическая емкость преобразователя;

R – сопротивление электрических потерь;

n – коэффициент электромеханической трансформации;

СЭКВ – эквивалентная гибкость;

mЭКВ – эквивалентная масса;

rS – сопротивление излучателю;

rмп – сопротивление механических потерь.

С другой стороны ем. мощность будет равна:



где .



Для одноконтурной эквивалентной схемы составляем следующее уравнение:

3.6



где

Для преобразователей работающих на воздушную среду КПД η=0,3, тогда Uраб=9 В.

Чувствительность в режиме излучения равна:

3.6



где P-давление на оси излучения при r=1м.

K0=4⋅π⋅S/λ2=41.

Чувствительность γ0=1.284 Па/В.

Электро-механическое КПД



Электрическая мощность преобразователя:



Полное сопротивление преобразователя равно:



где RM=(rS+rмп)/ηам⋅n=6,693 (кг/с),

тогда RW=6.688(Ом).

Добротность преобразователя вычисляется по формуле:[[4]](#footnote-4)\*\*\*

3.7



По определению добротность равна также отношению частоты к диапазону ее изменения. Поэтому получается, что Δf=f/Q=9157 Гц., т.е. данный преобразователь работает в широком диапазоне частот ±9157 Гц от заданной частоты. Данный результат позволяет использовать пр-ль в нашем устройстве.

1. **Конструкция преобразователя**



Рис. 6. Конструкция преобразователя

1 – пьезокерамическая пластина из материала ЦТСНВ-1;

2 – корпус преобразователя;

3 – резиновое кольцо;

4 – титановая пластина.

Конструкция данного преобразователя обладает хорошими механическими качествами и проста в изготовлении. Пьезокерамическая пластина (1) из материала ЦТСНВ-1 склеивается с пластной из титанового сплава(5) эпоксидным клеем, и с пощью корпуса (2) закрепляется. Для лучшего прижима исполбзуется резиновое кольцо (3). Пластмассовый корпус состоит из двух соединяемых с помощью клея или болтов частей. Выбор данной форму корпуса обусловлен использованием его в качестве поглощаюшего экрана. Он позволяет получить широкую характеристику направленности.

**Литература**

1. Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1990. – 320 с., ил.

2. Римский – Корсаков А. В. Электороакустика . М., “Связь”, 1973. 272 с. с ил.

3. Аронов Б.С. Электромеханические преобразователи из пьезоэлектрической керамики. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отд-ние, 1990. – 272 с: ил.

4. Справочник по гидроакустике / А.П. Евтютов, А.Е. Колесников, Е.А. Корепин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 522 с.: ил. – (Библиотека инженера-гидроакустика).

1. \* Л1 стр. 282 [↑](#footnote-ref-1)
2. \* Л1 стр. 287 [↑](#footnote-ref-2)
3. \*\* Л1 стр.287-288 [↑](#footnote-ref-3)
4. \*\*\* Л2 стр. 27 [↑](#footnote-ref-4)