

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.231

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ТЕОРЕМЫ ВЗАИМНОСТИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ УПРУГИХ ОБОЛОЧЕК

А. И. Вялышев, С. А. Рыбак, Б. Д. Тартаковский

Для определения звуковых полей, создаваемых колеблющимися упругими оболочками, предлагалось использовать принцип взаимности [1-4].

Полагая, что в безграничной среде имеется замкнутая упругая оболочка S и вне ее гармонический точечный источник с производительностью Q , можно написать принцип взаимности в форме

$$(1) \quad p_{21} = -\frac{1}{i\omega\rho Q} \iint_S \left(\frac{\partial p_{12}}{\partial n} p_{22} - \frac{\partial p_{22}}{\partial n} p_{12} \right) dS,$$

где p_{12} и $\partial p_{12}/\partial n$ — давление и нормальная скорость, развиваемые точечным источником на поверхности S , p_{22} и $\partial p_{22}/\partial n$ — аналогичные величины, возникающие на поверхности S при независимых от источников Q колебаниях оболочки; p_{21} — возбуждаемое при этом звуковое давление в точке нахождения источника Q .

Л. М. Лямшев предложил связать величины p_{22} и $\partial p_{22}/\partial n$ на поверхности S с помощью уравнений колебаний оболочки. Тогда для расчета звуковых полей, излучаемых тонкими оболочками под действием внешних сил f_2 , принцип взаимности принимает вид [2]

$$(2) \quad p_{21} = -(1/i\omega\rho Q) \iint_S \frac{\partial p_{12}}{\partial n} f_2 dS,$$

где p_{21} — излученное поле в точке наблюдения, p_{12} — поле точечного источника Q на упругой поверхности S в точке приложения сил, f_2 — известная система сил на упругой поверхности S .

Часто встречаются ситуации, когда определить силы f_2 аналитически либо экспериментально не удастся. Тогда представляется целесообразным использовать теорему взаимности в такой форме, которая не требовала бы знания сил, приложенных к упругой поверхности.

С этой целью поле точечного источника Q можно определить из формулы (1), полагая

$$(3) \quad \partial p_{12}/\partial n|_S = 0.$$

Тогда вычислить поле p_{21} , создаваемое упругой поверхностью S , без определения внешних сил, возбуждающих колебания поверхности, можно по формуле

$$(4) \quad p_{21} = (1/i\omega\rho Q) \iint_S \frac{\partial p_{22}}{\partial n} p_{12} dS.$$

Для определения величины p_{12} согласно формуле (3) требуется решить задачу дифракции на абсолютно жесткой поверхности S .

Определить p_{12} можно экспериментально непосредственно на реальной оболочке в области частот ниже первой собственной частоты оболочки при дополнительном условии малости волнового сопротивления среды по сравнению с инерционным сопротивлением оболочки ($\rho c/\omega m < 1$). Для диапазона частот, в котором возбуждаются собственные колебания оболочки, величина p_{12} может быть определена на модели оболочки с повышенной жесткостью.

Описанный метод определения звуковых полей, основанный на применении принципа взаимности, но не требующий измерения сил, возбуждающих колебания оболочек, может быть также использован для решения задач синтеза полей заданной конфигурации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лямшев Л. М. К вопросу о принципе взаимности в акустике. Докл. АН СССР, 1959, 125, 6, 1231—1234.
2. Лямшев Л. М. Об одном способе решения задачи излучения звука тонкими упругими оболочками и пластинами. Акуст. ж., 1959, 5, 1, 122—124.
3. Белоусов Ю. И., Римский-Корсаков А. В. Принцип взаимности в акустике и его применение для расчета звуковых полей колеблющихся тел. Акуст. ж., 1975, 21, 2, 161—172.
4. Шендеров Е. Л. Волновые задачи гидроакустики, Л., «Судостроение», 1972.

Акустический институт
Академии наук СССР

Поступила
24 ноября 1977 г.

УДК 534.232

ВЛИЯНИЕ СИЛЬНОГО ОДНО- И ДВУСТОРОННЕГО СЖАТИЯ НА СВОЙСТВА ПЬЕЗОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ЦТС

В. А. Дорошенко, М. А. Угрюмова

Пьезокерамические материалы в современных акустических устройствах (излучателях и приемниках звука) часто находятся под воздействием больших статических механических напряжений сжатия, что может приводить к изменению свойств пьезокерамики и, следовательно, существенно нарушать режим работы преобразователей, снижать их эффективность. Влияние сжатия заметно сказывается, например, в глубоководных преобразователях, подверженных действию гидростатического давления, и в мощных излучателях, в конструкции которых предусмотрено предварительное статическое поджатие активного элемента.

Одним из путей решения проблемы создания устойчивых к действию статических механических нагрузок преобразователей является применение в них составов пьезокерамики со слабо зависящими от сжатия свойствами.

В данной работе представлены результаты исследования свойств некоторых составов на основе ЦТС, описанных в работах [1, 2], а также некоторых промышленных составов [3] в зависимости от одно- и двустороннего сжатия. Основные характеристики исследованных составов при обычных условиях (плотность ρ , диэлектрическая проницаемость ϵ , тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ и пьезомодуль d_{33}), определенные согласно [4], приведены в табл. 1, где дано также значение пьезомодуля после стабилизации свойств по методу, описанному в [5] ($d_{33}^{\text{стаб}}$).

Под действием сжатия изучались важные при использовании пьезокерамики в акустических преобразователях характеристики: диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, пьезомодули d_{31} , d_{33} . Пьезомодули определялись по скачку постоянного тока при резком изменении давления на образцах [5], диэлектрические характеристики — мостовым методом.

Измерения проводились на образцах в виде прямоугольных брусков и пластин с размерами по осям X , Y , Z соответственно $7 \times 14 \times 7$ и $7 \times 7 \times 3$ мм. Образцы были поляризованы по оси Z . Одностороннее сжатие создавалось в образцах первого типа в направлении оси Z (напряжение продольного сжатия σ_3), оси X (напряжение поперечного сжатия σ_1), двустороннее — в образцах второго типа в направлении осей X и Y (напряжения σ_1 , σ_2 соответственно).

Измерения показали, что под действием сжатия значения всех характеристик образцов изучаемых составов монотонно уменьшаются. Изменения диэлектрических характеристик с ростом как σ_3 , так и σ_1 и σ_2 происходят почти линейно, причем для составов ЦТЦНС-1, ЦТЦНС-2, ЦТКНС-1 диэлектрические характеристики изменяются относительно слабо и практически обратимо. Пьезомодули d_{33} и d_{31} изменяются под действием сжатия у всех составов весьма существенно. При уменьшении напряжений сжатия наблюдается гистерезис и первоначальные значения пьезомодулей после снятия напряжений не восстанавливаются. При повторных циклах нагружения гистерезис заметно уменьшается и необратимые изменения практически исчезают (см. фиг. 1, где в качестве примера даны нормированные к первоначальным значениям, отмеченным индексом «0», изменения пьезомодулей для состава ЦТЦНС-2).

Относительные изменения диэлектрических и пьезоэлектрических характеристик для образцов всех изученных составов при первом приложении механического напряжения сжатия приведены в табл. 2, где в скобках даны необратимые относительные изменения этих характеристик после снятия напряжения. На фиг. 2 представлено