

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.833.524

К РАСЧЕТУ АНТИСИММЕТРИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРУКТУР

Г. М. Авилова, Ю. И. Матвеев, Б. Д. Тартаковский,
О. Г. Швилкина

В настоящее время в технике вибропоглощения широко используются трехслойные структуры типа металл — полимер — металл. Ввиду того что упругостные характеристики полимера значительно отличаются от характеристик металла, при расчете нулевой моды антисимметричных колебаний применяют модель, предложенную в работе [1]. В этой модели, получившей широкое распространение, предполагается, что наружные металлические слои испытывают деформации изгиба и растяжения, а средний слой подвергается изгибу и сдвигу. Однако частотная граница применимости этой модели неизвестна. Для оценки границ применимости исходных допущений, принятых в работе [1], нами были рассчитаны дисперсионные характеристики фазовой скорости нулевой моды антисимметричных колебаний V_ϕ в зависимости от частоты ω по приближенным [1] и точным формулам.

Для точного расчета фазовой скорости нулевых антисимметричных колебаний трехслойной структуры было использовано выражение для коэффициента прохождения D , приведенное в работе [2]:

$$(1) \quad D = \frac{2z_0}{z_0(M_{11} - M_{12}z_0) - (M_{21} - z_0M_{22})},$$

где M_{11} , M_{12} , M_{21} , M_{22} — коэффициенты обобщенной матрицы, определенные с учетом поправок, найденных в работе [3], $z_0 = \rho_0 c_0$ — импеданс среды, окружающей трехслойную структуру.

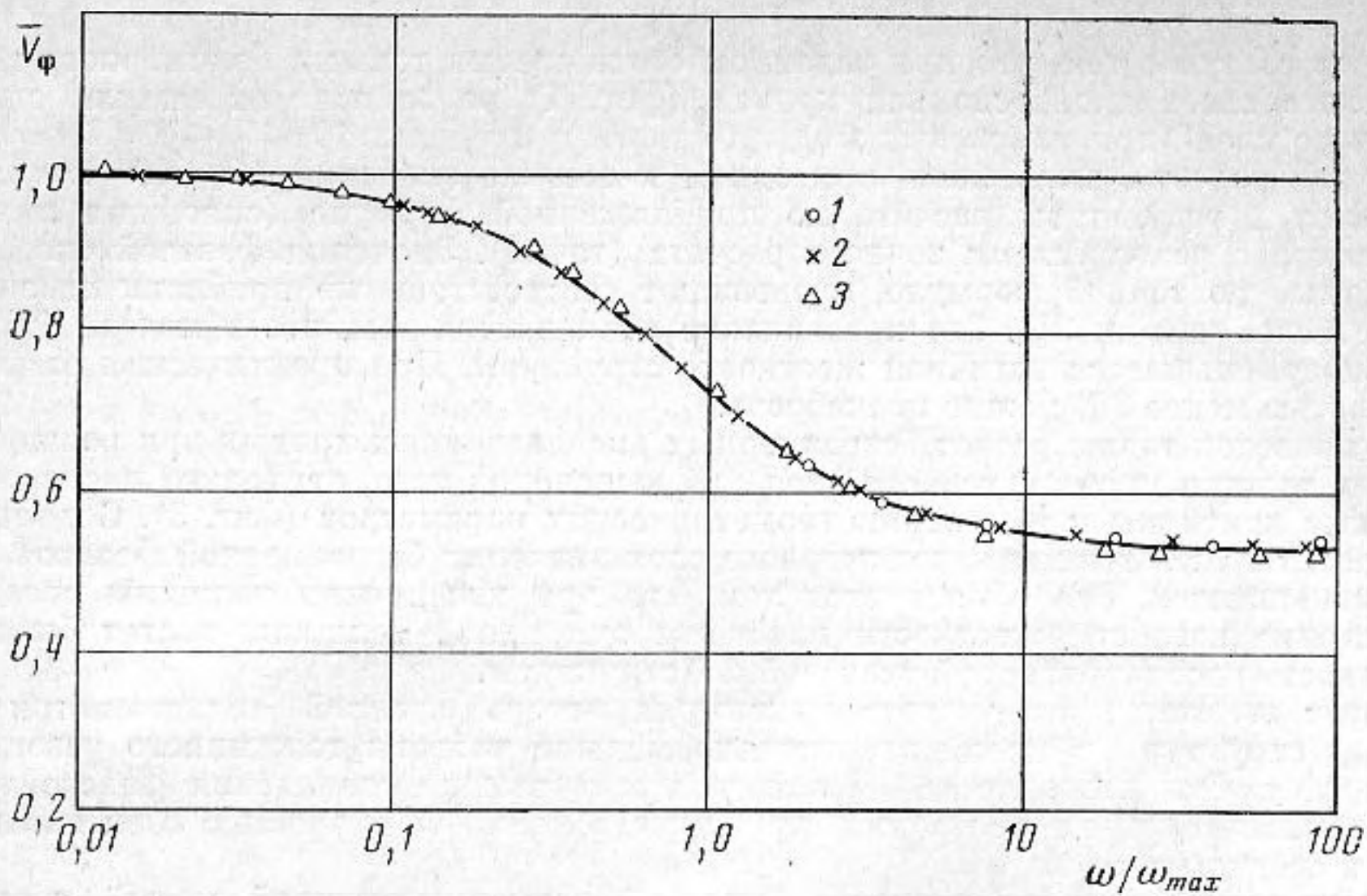
Дисперсионная кривая вычислялась, согласно работе [2], из уравнения, получающегося из формулы (1) при обращении в нуль знаменателя, причем антисимметричным колебаниям соответствовало уравнение

$$(2) \quad z_0 = \frac{M_{11} + M_{22} - \sqrt{(M_{11} + M_{22})^2 - 4M_{12}M_{22}}}{2M_{12}} = 0.$$

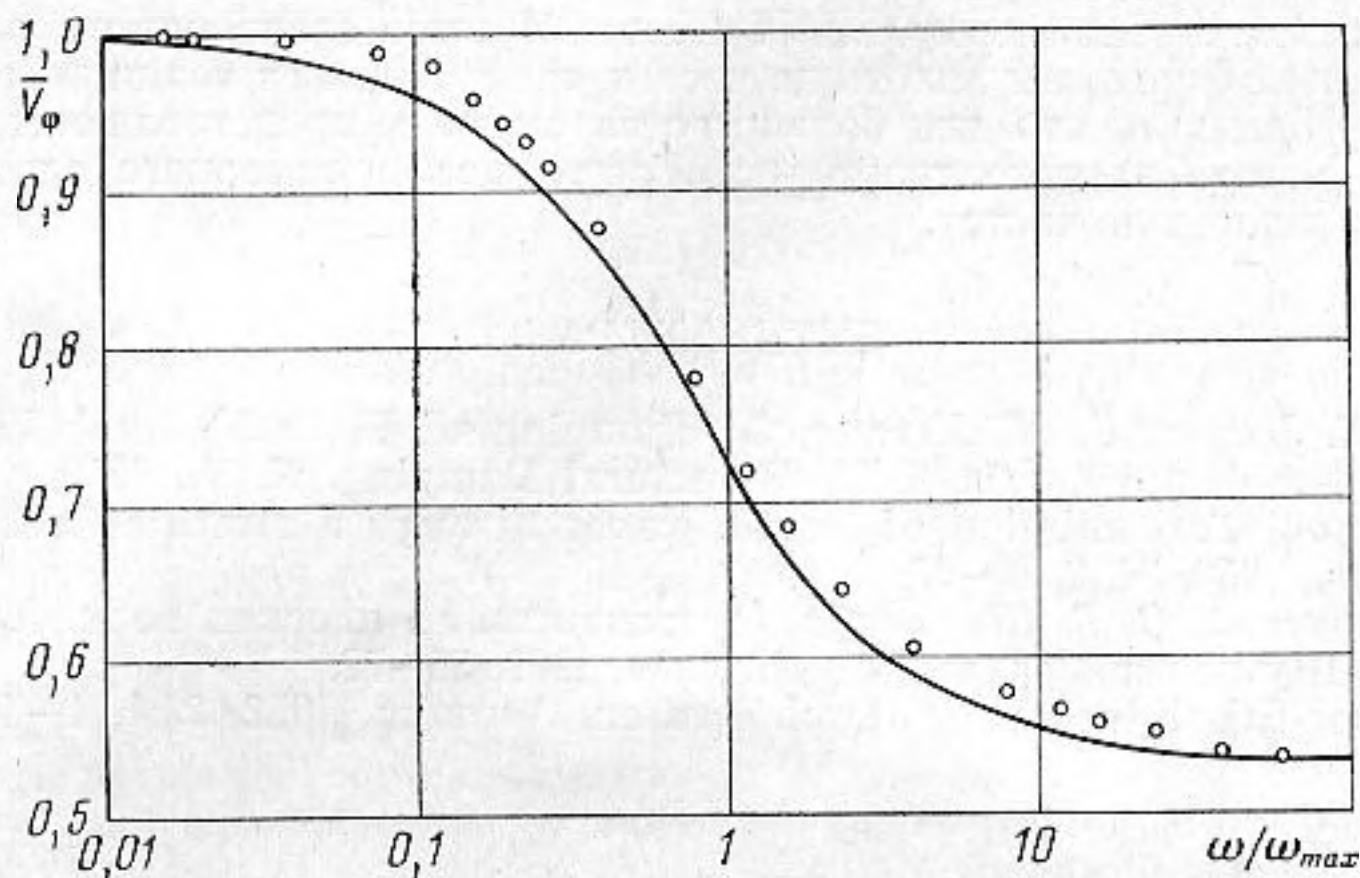
При численном решении уравнения на ЭВМ характеристики среды ρ_0 и c_0 подбирались таким образом, чтобы фазовая скорость однородной пластины (алюминиевой), найденная из уравнения (2), совпадала с погрешностью не более 0,5% с точным решением [4]. Требуемое условие удовлетворяется при $c_0 = 1 \cdot 10^2$ см/сек и $\rho_0 = 0,1$ г/см³.

Решение уравнения (2) сводилось к поиску угла падения волны θ_0 на рассматриваемую слоистую структуру как функции от частоты ω , при котором удовлетворялось уравнение (2). Фазовая скорость нулевых антисимметричных колебаний как функция от частоты V_ϕ определялась из условия $V_\phi = c_0 / \sin \theta_0(\omega)$.

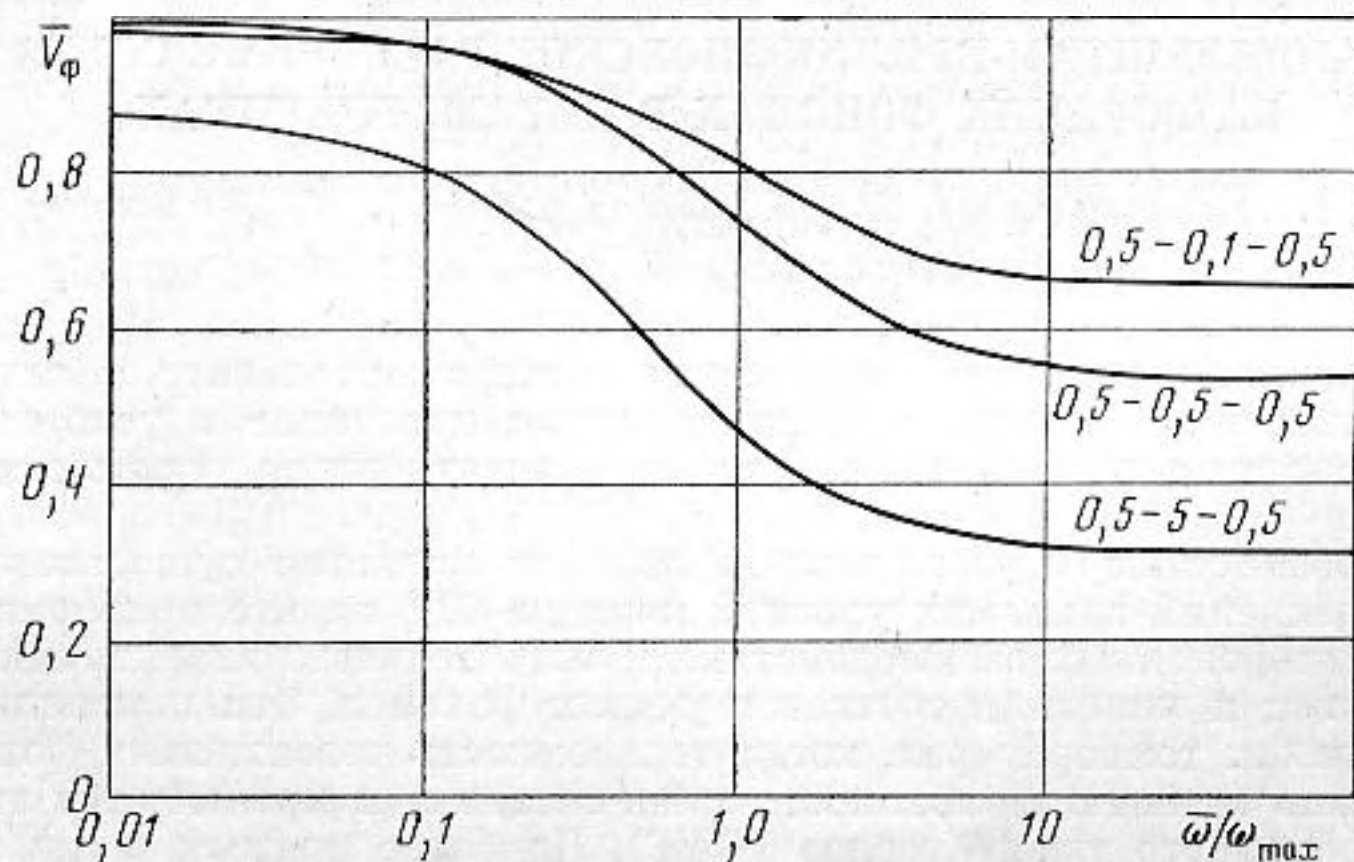
На фиг. 1 и 2 приведены графики $\bar{V}_\phi = f(\bar{\omega})$, рассчитанные для трехслойных симметричных структур, состоящих из наружных алюминиевых пластин и промежуточного полимерного слоя толщиной по 5 мм каждый. При построении графиков были использованы следующие безразмерные параметры: $\bar{V}_\phi = V_\phi / V_\phi^0$ и $\bar{\omega} = \omega / \omega_{\max}$, где V_ϕ — фазовая скорость, рассчитанная по формулам работ [1–3], соответственно, V_ϕ^0 — фазовая скорость изгибных колебаний алюминиевой пластины суммарной толщины $H_2 = 2H_1 + H_2$, ω — текущая круговая частота, ω_{\max} — частота максимума потерь колебаний на нулевой антисимметричной моде. Для определения ω_{\max} по приближенной формуле [1] в полимерный слой вводились потери. Выбор безразмерных



Фиг. 1. Зависимость относительной фазовой скорости \bar{V}_ϕ от относительной частоты ω для трех значений модуля сдвига (G_2) промежуточного слоя (дин/см^2): 1 - 10^8 ; 2 - 10^8 ; 3 - 10^{10}



Фиг. 2. Фазовые скорости $\bar{V}_\phi = f(\omega)$, рассчитанные по формуле работы [1] (сплошная линия) и по точной формуле (точки)



Фиг. 3. Частотные зависимости относительной фазовой скорости для структур с разной толщиной промежуточного слоя

параметров связан с тем, что при заданном соотношении толщин полимерного и металлического слоев дисперсионная кривая (фиг. 1) не зависит от модуля сдвига полимерного слоя (при изменении модуля сдвига в пределах $10^6 \leq G_2 \leq 10^{10}$ дин/см²). Поэтому все расчеты выполнены при одном и том же значении ($G_2 = 10^8$ дин/см²).

На фиг. 2 результаты расчета по приближенной формуле (сплошная линия) сравниваются с результатами точного расчета (точки). Значения фазовой скорости, рассчитанные по точной формуле, превышают соответственные приближенные значения не более чем на 3%. Это превышение объясняется тем, что в модели [1] несколько преуменьшается изгибная жесткость структуры. При практических расчетах погрешностью менее 3% можно пренебречь.

Был проведен также расчет безразмерных дисперсионных кривых при различных значениях толщин промежуточного слоя для выяснения того, насколько дисперсионные кривые критичны к изменению геометрических параметров (фиг. 3). С увеличением относительной толщины полимерного слоя значения безразмерной фазовой скорости уменьшаются. Это объясняется тем, что при увеличении толщины среднего слоя значение изгибной жесткости пластины суммарной толщины растет быстрее, чем жесткость рассматриваемой трехслойной структуры.

Следует заметить, что частота максимума потерь нулевой антисимметричной моды ω_{\max} структуры в целом значительно меньше частоты толщинного резонанса среднего слоя. Приблизительно ω_{\max} соответствует условию совпадения фазовой скорости антисимметричных колебаний структуры в целом со скоростью сдвиговых колебаний в среднем слое b .

Относительная фазовая скорость (нулевой антисимметричной моды), соответствующая максимуму потерь, \bar{v}_f^{\max} , и относительная скорость сдвиговых колебаний только в полимерном слое совпадают с точностью до 10% для относительных толщин среднего слоя $0,2 \leq H_2/2H_1 \leq 10$.

Таким образом, расчеты фазовой скорости и соответственно изгибной жесткости и коэффициента потерь по формулам [1] дают хорошее совпадение с результатами расчетов по точным формулам вплоть до частот, где возникают толщинные резонансы в среднем слое. Заметим, что для большинства случаев, представляющих практический интерес, частота первого толщинного резонанса полимерного слоя находится выше звукового диапазона частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. Ross, E. E. Ungar, E. M. Kerwin, Jr. Damping of Plate Flexural Vibrations by Means of Viscoelastic Laminae. In: Structural Damping. N. Y., 1959, 49—87.
2. W. T. Thompson. Transmission of elastic waves through a stratified solid materials. J. Appl. Phys., 1950, 21, 2, 89—93.
3. Б. Д. Тартаковский, О. Г. Швилкина. О прохождении плоских волн через твердые слои. В сб.: Шумы и вибрации. М., «Наука», 1969, 55—72.
4. A. Schoch. Der Schalldurchgang durch Platten. Acustica, 1952, 2, 1, 1—17.

Акустический институт
Академии наук СССР

Поступила
8 декабря 1975 г.

УДК 537.635:537.611.43:539.124:543.422.27

МАНДЕЛЬШТАМ-БРИЛЛЮЭНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА НА ГОРЯЧИХ ФОНОНАХ В ПАРАМАГНЕТИКАХ

С. А. Альтшулер, Р. М. Валишев, Р. Г. Деминов,
Б. И. Кочелав, А. Х. Хасанов

В данной работе излагаются результаты экспериментального и теоретического исследования кинетики фононов в парамагнитном кристалле в условиях неравновесности спин-системы, вызванной насыщением электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

Важной особенностью парамагнитных веществ является существование низкочастотных расщеплений спиновых уровней порядка 10^{10} гц, что приводит вследствие резонансных спин-фононных взаимодействий к значительным изменениям спектральных характеристик и кинетики соответствующих фононов. Эти изменения особенно заметны при низких температурах, когда теплоемкость резонансных фононов становится значительно меньше теплоемкости спин-системы, и проявляется так называемый эффект «фононного узкого горла» (ФУГ). Наиболее прямым и информативным методом наблюдения подобных эффектов в настоящее время является изучение мандельштам-бриллюэновского рассеяния света (МБР) на указанных резонансных фононах [1, 2].