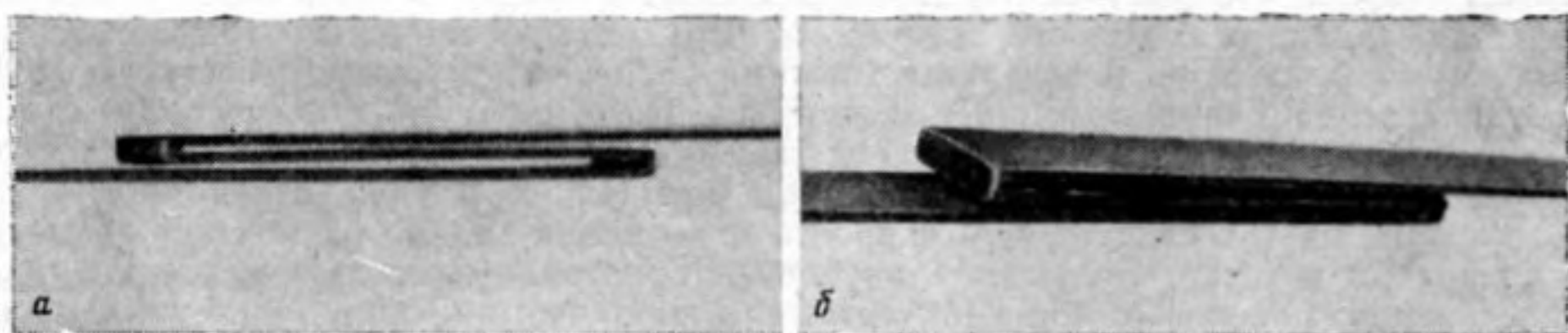


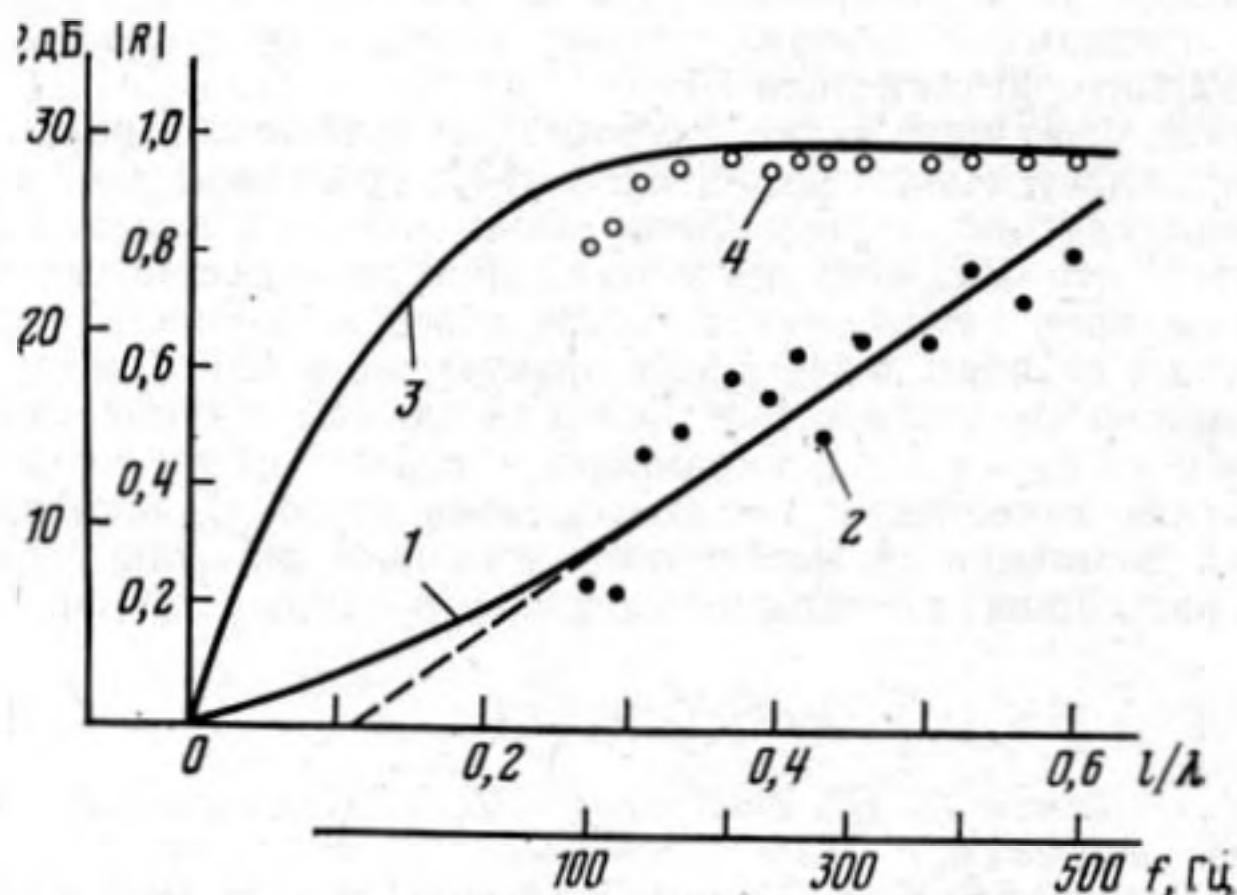
ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ИЗГИБНЫХ ВОЛН «ОБРАТНОЙ» СТЕРЖНЕВОЙ ВСТАВКОЙ В ВИБРОПРОВОДЕ

Баранов В. В., Тютюкин В. В.

При падении изгибной волны на стык двух стержней (или пластин) происходит ее трансформация в другие типы изгибных волн, зависящая от характера закрепления в стыке. Весьма своеобразная трансформация происходит на «обратном» стыке двух идентичных полубесконечных стержней. Под «обратным» стыком понимаем такое жесткое соединение свободных концов стержней, при котором их бесконечно удаленные концы направлены в одну сторону. Пусть по одному из стержней (назовем его первым) в направлении стыка бежит изгибная волна единичной амплитуды¹ $W_0 = \exp(ikx)$, где W — поперечное смещение стержня. Отраженные от стыка и прошедшие через него волны представим в виде $W_1 = R \exp(-ikx) + F \exp(kx)$; $W_2 = P \exp(ikx) + Q \exp(kx)$. При этом предполагаем, что первый стержень совпадает с отрицательной, а второй — с положительной полуосью x соответственно. Граничные условия на стыке стержней (при $x=0$) имеют вид $W_0 + W_1 = W_2$; $W_0' + W_1' = -W_2'$; $W_0'' + W_1'' = -W_2''$; $W_0''' + W_1''' = W_2'''$, где штрих означает дифференцирование по x , и отличаются от условий на «прямом» стыке знаками правых частей во втором и третьем уравнениях. Подставляя величины W_0 , W_1 и W_2 , получим следующие значения неизвестных коэффициентов: $R=i$; $Q=1+i$; $P=F=0$. Таким образом, в отраженном поле содержится только волна того же типа, что и падающая $W_1 = i \exp(-ikx)$, а в прошедшем — только одна неоднородная $W_2 = (1+i) \exp(-kx)$. При этом падающая однородная волна полностью отражается от «обратного» стыка ($|R|=1$).



Фиг. 1, а, б. «Обратная» стержневая вставка



Фиг. 2. Эффективность стержневой вставки: 1, 3 — теория, 2, 4 — эксперимент

На это последнее обстоятельство, по-видимому, впервые было указано в работе [1] для случая «обратного» стыка двух пластин.

Если на «обратный» стык двух идентичных стержней «падает» неоднородная изгибная волна $W_0 = \exp(-kx)$, то аналогичный расчет, проведенный для величин R_1 , F_1 , P_1 и Q_1 , дает следующие их значения: $F_1 = -i$, $P_1 = 1-i$, $R_1 = Q_1 = 0$. При этом $W_1 = -i \exp(kx)$ и $W_2 = (1-i) \exp(ikx)$, т. е. в отраженном поле так же, как и в падающем, содержится только неоднородная волна, а в прошедшем — только однородная.

Таким образом, «обратный» стык стержней преобразует падающую изгибную волну одного типа в отраженную волну того же типа и в прошедшую волну другого типа. Это свойство позволяет получить большую виброизоляцию изгибных волн в вибропроводе с помощью стержневой вставки (с теми же параметрами, что и у вибропровода), имеющей два «обратных» стыка (фиг. 1, а, б). В этом случае падаю-

¹ Всюду принята зависимость от времени $\exp(-i\omega t)$.

щая однородная волна превращается на первом стыке вставки в неоднородную волну, «падающую» на второй стык и «отражающуюся» от него так же в виде неоднородной волны. Таким образом, в такой вставке будут существовать только неоднородные волны, сильно затухающие по ее длине, так что за вставкой будет существовать сильно ослабленная однородная волна. Расчеты, выполненные аналогично изложенным выше, дают следующие значения для полей изгибных волн (без падающей волны) в вибропроводе со вставкой длины l : $W_1 = i \operatorname{th} kl \exp(-ikx)$; $W_2 = \operatorname{ch}^{-1} kl [\operatorname{ch} k(l-x) + i \operatorname{sh} k(l-x)]$; $W_3 = \operatorname{ch}^{-1} kl \exp[ik(l-x)]$, где W_1 и W_3 — смещения в полубесконечных стержнях, W_2 — в стержневой вставке. Таким образом, коэффициент отражения от вставки $R = i \operatorname{th} kl$, а величина виброизоляции $P = \operatorname{ch} kl$, при этом как и должно быть $|R|^2 + |P|^2 = 1$. Если величину P выразить в децибеллах, то при $l/\lambda \approx 0,25$, где λ — длина изгибной волны, ее с хорошей точностью можно представить в виде $P_{\text{дБ}} = 54,54 l/\lambda - 6$, откуда видно, что даже при небольших значениях l/λ $P_{\text{дБ}}$ может принимать большие значения, при этом величина $|R|$ близка к единице. График зависимости величин $|R|$ и $P_{\text{дБ}}$ от l/λ приведен на фиг. 2; пунктиром проведена асимптотическая прямая для $P_{\text{дБ}}$. Здесь же приведены экспериментальные значения этих величин, полученные на установке, аналогичной приведенной в работе [2]. В качестве вибропровода использовался стальной стержень прямоугольного сечения толщиной 0,3 см и шириной 3 см; длина вставки при тех же поперечных размерах составляла 14 см. Измерения $|R|$ и $P_{\text{дБ}}$ проводились на гармонических сигналах путем анализа параметров стоячих волн с помощью бесконтактного виброприемника (микрофона), в диапазоне частот 100–500 Гц. Значения частоты приведены на нижней шкале фиг. 2. Точками отмечены экспериментальные значения измеренных величин. Из фигуры видно, что экспериментальные значения неплохо совпадают с теоретическими, что подтверждает возможность использования описанных стержневых вставок для создания виброизоляции в вибропроводах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов В. П. Отражение изгибной волны от углового соединения пластин. — Акуст. журн., 1968, т. 14, № 4, с. 577–581.
2. Кашина В. И., Тюткин В. В. Установка для измерения модуля Юнга и коэффициента потерь резиноподобных и твердых материалов. — В кн.: Приборы и машины для испытания металлов и пластмасс. М.: Машгиз, 1965, с. 31–36.

Акустический институт
им. Н. Н. Андреева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
27.III.1985

УДК 534.26

О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОЛН ВДОЛЬ ПЛАСТИНЫ, ПОДКРЕПЛЕННОЙ ПЕРИОДИЧЕСКИМ НАБОРОМ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ

Белинский Б. П., Вешев В. А.

Различные вопросы возбуждения колебаний периодически подкрепленных пластин, контактирующих с внешней акустической средой [1], приводят к необходимости анализа дисперсионных свойств модели, т. е. к исследованию поверхностных волн, распространяющихся без затухания вдоль конструкции [2]. В частности, при возбуждении изгибно-колеблющейся пластины, подкрепленной периодическим (с периодом d) набором ребер жесткости, нормальной гармонической силой акустическое поле в среде представляется интегралом [1–3], подынтегральное выражение которого имеет полюса в нулях функции

$$\Delta(\alpha) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \gamma_n / L_n - d/Z, \quad (1)$$

$$\gamma_n = (\lambda_n^2 - k^2)^{1/2}, \quad L_n = (\lambda_n^4 - k_n^4) \gamma_n - 2\nu,$$

$$\lambda_n = (2\pi n + \alpha) / d.$$

Здесь $\nu = \rho_0 \omega^2 D$, ρ_0 — плотность среды, окружающей пластину с двух сторон, $k = \omega/c$ — волновое число, c — скорость звука в среде, $D = EH^3/12(1-\sigma^2)$ — цилиндрическая жесткость пластины, $k_n = (\rho H \omega^2 / D)^{1/4}$ — волновое число изгибных колебаний пластины в вакууме, H — толщина пластины, ρ , E , σ — плотность, модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала пластины, $Z = \rho_1 H_1 b \omega^2 / D$ — силовой импеданс ребра жесткости, ρ_1 — плотность материала ребра, H_1 , b — толщина и высота ребра. В отличие от работы [3] не учитывается телесность ребер и их моментные импедансы.

Вещественные нули функции $\Delta\alpha$ определяют волновые числа распространяющихся поверхностных волн (однородных нормальных волн Флоке) в рассматриваемой конструкции. Анализ этих нулей необходим и при исследовании звукового дав-