

5. Зябликов В. М., Смирнов В. Ф. Уменьшение динамических нагрузок в крутильных системах согласованием импедансов // Изв. вузов. Машиностроение, 1985. № 9. С. 82—87.
6. Зябликов В. М., Смирнов В. Ф., Красеньков В. И., Иванов В. А. Демпфер вязкого трения. А. с. 920299 СССР // Б. И. 1982. № 14.

Нижегородский филиал института
машиноведения им. А. А. Благодравова
Российской академии наук

Поступило в редакцию
13.01.92
После исправления
21.05.92

УДК 534.1

© 1993 г. В. Ю. Кирпичников

О ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ ВИБРОВОЗБУДИМОСТИ ОБОЛОЧКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАДИАЛЬНОЙ СИЛЫ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ВНУТРЕННЕЙ ТОНКОЙ ПЛАСТИНЫ

Подкрепление оболочки пластинчатыми связями (продольными и поперечными перегородками) приводит к изменению ее виброакустических параметров, что выражается, например, в росте значений собственных частот упругих колебаний, изменении амплитудно-частотных характеристик системы и звукоизлучения оболочки при ее вынужденных колебаниях [1].

Оказывается, что внутренняя продольная связь, даже существенно более тонкая, чем круговая цилиндрическая оболочка, возбуждаемая радиальной силой, может на порядок уменьшить уровни вибраций четных резонансных форм колебаний оболочки. Это достигается при установке связи либо в плоскости действия силы, либо перпендикулярно этой плоскости под углом 90° к линии действия силы.

Рассмотрим колебания изотропной оболочки бесконечной длины с радиусом a , толщиной h и одиночной пластинчатой связью толщиной h_1 , в нейтральной плоскости которой находится ось оболочки, при нагружении гармонической силой $F \delta[a(\varphi - \varphi_0)] \exp(i\omega t)$, нормальной к поверхности оболочки. В связи учитываем только продольные колебания, что справедливо при совпадении линий контакта связи и оболочки с образующими, проходящими через пучности форм колебаний оболочки, симметричных относительно плоскости действия силы.

Решение дифференциальных уравнений колебаний оболочки относительно амплитуд радиального (u_{1n}) и тангенциального (u_{2n}) смещений моды n сводится к виду

$$u_{1n} = A_n \left[F_n - 2i\omega Z_F \frac{\sum_{t=-\infty}^{\infty} A_n + 2t}{1 + 2i\omega Z_F \sum_{t=-\infty}^{\infty} A_n + 2t} \right], \quad u_{2n} = \frac{in u_{1n}}{n^2 - (ka)^2},$$

где

$$F_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(\varphi) e^{-in\varphi} d\varphi, \quad A_n = \frac{a(1-\mu^2)}{2\pi E h \Gamma_n}, \quad \Gamma_n = 1 - \frac{n^2}{n^2 - (ka)^2} + \epsilon n^4 - (ka)^2, \quad \epsilon = h^2/12a^2,$$

$k = \omega/c$ — волновое число упругих колебаний оболочки по ее периметру, $c = [E/\rho(1-\mu^2)]^{1/2}$ — скорость продольных волн в материале оболочки; E , μ и ρ — модуль Юнга, коэффициент Пуассона и плотность материала оболочки.

Механическое сопротивление связи по отношению к силам со стороны оболочки запишем в форме

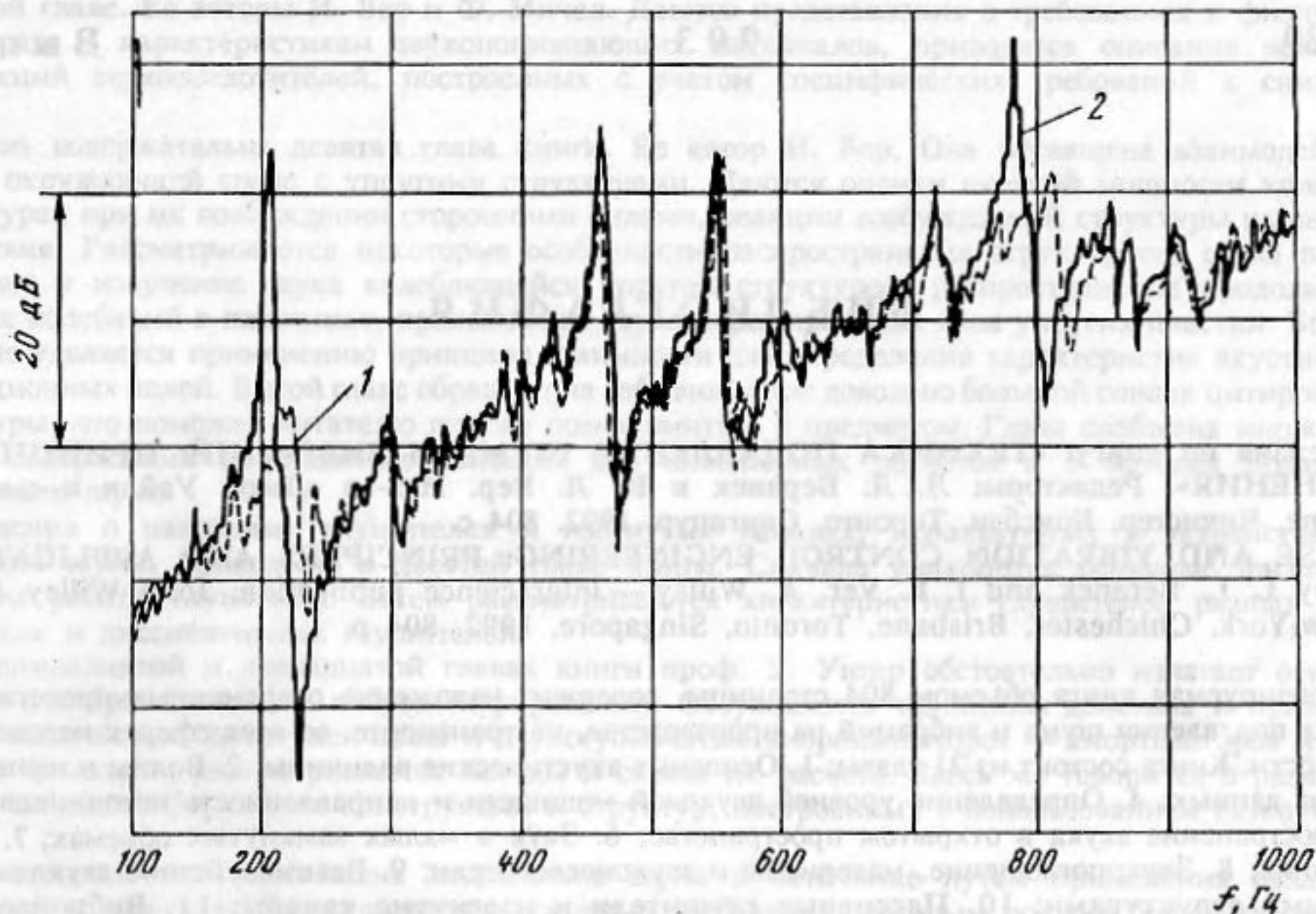
$$Z_F = \frac{iE_1 h_1 k_1 \sin(2k_1 a)}{\omega [1 + \cos(2k_1 a)],}$$

где k_1 — волновое число продольных колебаний связи, а E_1 — модуль Юнга ее материала. Расчеты амплитуд u_{1n} нулевой и четных форм колебаний оболочки для случаев отсутствия ($Z_F = 0$) и наличия в оболочке связи при приложении силы либо по одной из линий крепления связи либо по линии, находящейся на одинаковом угловом расстоянии от ее кромок, показали, что размещение в оболочке даже тонкой связи ($h_1 \leq 0,1h$) приводит к значительному уменьшению вибраций оболочки на резонансных частотах рассматриваемых симметричных форм ее колебаний, поскольку связь во много раз увеличивает их механическое сопротивление.

Влияние тонкой связи на колебания оболочки установлено также экспериментально.

Эксперимент выполнялся с использованием круговой цилиндрической оболочки из стали длиной 1,7 м с радиусом и толщиной равными 0,7 м и 0,004 м. Снаружи оболочка была подкреплена равноотстоящими (0,08 м) кольцами высотой 0,04 м. Пластинчатая связь (0,75 м × 0,6 м) с

$$20 \lg \omega^2 \left| \frac{U_1(3\pi/2)}{F} \right|$$



Спектр входной проводимости оболочки при наличии (1) и отсутствии (2) связи

толщинами $6 \cdot 10^{-3}$ м, $2 \cdot 10^{-3}$ м, 10^{-3} м, $5 \cdot 10^{-4}$ м и $2,5 \cdot 10^{-4}$ м располагалась симметрично относительно среднего поперечного сечения оболочки и крепилась к ней через две полосы ($0,75$ м \times $0,1$ м \times $0,004$ м), идущие вдоль образующих с угловым расстоянием $\varphi = \pi$. Электродинамический вибратор устанавливался посередине между кольцевыми элементами на одинаковом расстоянии от торцов оболочки и кромок связи ($\varphi = 3\pi/2$).

Степень влияния связи на вибровозбудимость оболочки определялась сравнением спектров входной и переходной проводимостей последней при наличии и отсутствии связи. На рисунке сплошной и пунктирной кривыми изображены типичные спектры входной проводимости (по ускорению) оболочки без связи и со связью соответственно ($h_1 = 5 \cdot 10^{-4}$ м). Видно, что связь значительно уменьшает вибрации оболочки на частотах с максимальными уровнями 207 Гц и 782 Гц. Измерения показали, что указанные максимумы в спектре вибраций оболочки без связи обусловлены резонансным возбуждением форм с одной полуволной по образующей при двух и четырех длинах волн по окружности. На частоте 207 Гц уменьшение вибраций при установке связи с относительными толщинами h/h_1 равными 0,7; 2; 4; 8 и 16 составило 29 дБ, 28 дБ, 22 дБ, 20 дБ и 15 дБ соответственно. Эффект уменьшения вибраций на резонансном максимуме с частотой 782 Гц даже при установке связи в 16 раз более тонкой, чем оболочка, составил около 17 дБ. Названные выше четные нормы колебаний в оболочке со связью на частотах 207 Гц и 782 Гц практически не возникали. Интенсивные дополнительные максимумы в спектре вибраций оболочки со связью при этом не обнаруживались. Аналогичные результаты были получены со связями меньшей длины вдоль образующей. Связь толщиной $5 \cdot 10^{-4}$ м разрезалась на пять одинаковых полос. Вибрации оболочки измерялись при установке всех полос, а также при их последовательном попарном снятии, начиная с крайних. Оказалось, что с уменьшением количества полос их влияние на уровни вибраций оболочки несколько ослабевает, однако даже при одной связи остается достаточно заметным. Эффект уменьшения вибраций оболочки на частотах 207 Гц и 782 Гц при установке пяти, трех и одной полос составил 18, 15, 7 дБ и 11, 8, 5 дБ соответственно.

Во всех рассмотренных случаях изменения уровней вибраций оболочки на других частотах не носили принципиального характера.

Таким образом, целенаправленная установка тонкой внутренней связи пластины может оказаться эффективным средством снижения вибраций оболочки на отдельных ее резонансных частотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удалов Г. В. О низкочастотном излучении звука подкрепленной цилиндрической оболочкой // Акуст. журн. 1974. Т. 20. № 5. С. 771—777.

Центральный научно-исследовательский институт им. А. Н. Крылова

Поступила в редакцию
14.07.92