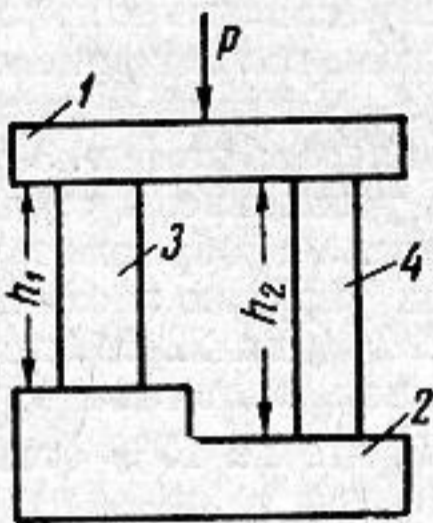


# ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ДОСТИЖЕНИЯ ПОЛНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

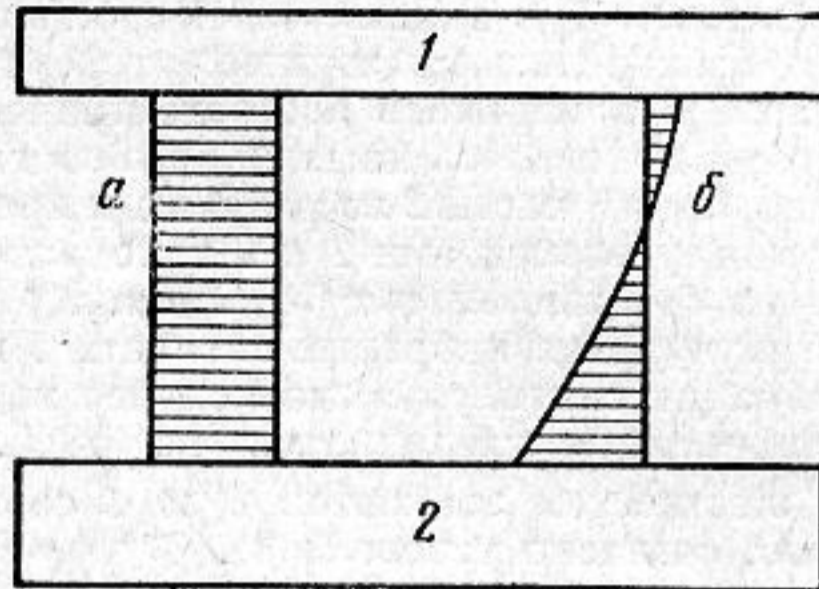
В. И. Заборов

Пусть элементы 1 и 2 (фиг. 1) с массами  $M_1$  и  $M_2$  соединены между собой системой из двух параллельных упругих элементов 3 и 4 с различными физико-геометрическими параметрами. Эти элементы характеризуются модулями Юнга

$E_1$  и  $E_2$ , площадями поперечных сечений  $F_1$  и  $F_2$ , толщинами  $h_1$  и  $h_2$  и постоянными распространения звука  $\gamma_1 = i \frac{\omega}{c_1} \left(1 - \frac{1}{2} i \eta_1\right)$  и  $\gamma_2 = i \frac{\omega}{c_2} \left(1 - \frac{1}{2} i \eta_2\right)$ . Индекс 1 относится к элементу 3, а индекс 2 — к элементу 4.



Фиг. 1



Фиг. 2

При воздействии силы  $P = P_0 e^{i\omega t}$  на элемент 1, смещение элемента 2 равно

$$w_2 = \frac{P (E_1 F_1 \gamma_1 \text{cs ch } \gamma_1 h_1 + E_2 F_2 \gamma_2 \text{cs ch } \gamma_2 h_2)}{(E_1 F_1 \gamma_1 \text{cth } \gamma_1 h_1 + E_2 F_2 \gamma_2 \text{cth } \gamma_2 h_2 - M_1 \omega^2) (E_1 F_1 \gamma_1 \text{cth } \gamma_1 h_1 + E_2 F_2 \gamma_2 \text{cth } \gamma_2 h_2 - M_2 \omega^2) - (E_1 F_1 \gamma_1 \text{cs ch } \gamma_1 h_1 + E_2 F_2 \gamma_2 \text{cs ch } \gamma_2 h_2)^2}. \quad (1)$$

Это смещение равно нулю, если

$$\gamma_1 E_1 F_1 \text{cs ch } \gamma_1 h_1 + \gamma_2 E_2 F_2 \text{cs ch } \gamma_2 h_2 = 0. \quad (2)$$

При этом выражение, стоящее в знаменателе уравнения (1), не должно обращаться в нуль. Для этого необходимо, чтобы заданная частота не совпадала с частотами собственных колебаний системы, составленной из элемента 1 и упругих элементов 3 и 4 при закреплении элемента 2, и с частотами собственных колебаний системы, состоящей из элемента 2 на упругих элементах 3 и 4 при неподвижном элементе 1.

Если выбранная частота  $f_u$  удовлетворяет условию  $f_u < \frac{c_1}{6h_1}$ , то можно принять  $\text{sh } \gamma_1 h_1 = \gamma_1 h_1$ .

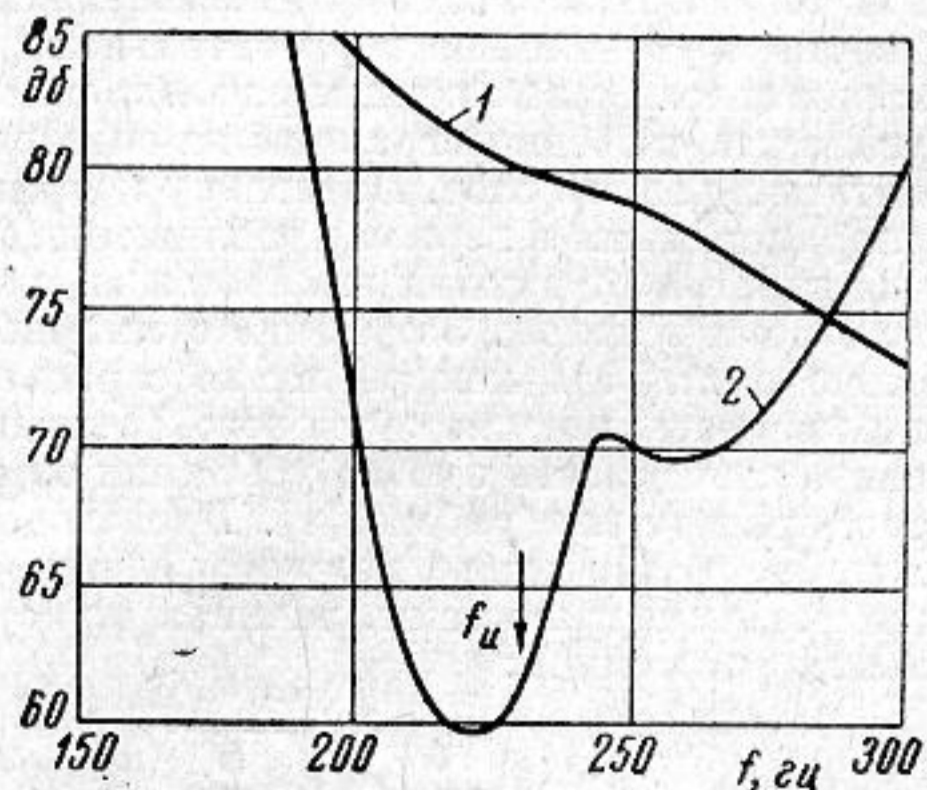
Выберем далее упругие характеристики элемента 4 таким образом, чтобы при заданной величине  $f_u \text{sh } \gamma_2 h_2 = -1$ , откуда  $f_u = 3 c_2 / 4 h_2$ . Условие (2) полной виброизоляции (при отсутствии потерь  $\eta_2$ ) выполняется при

$$\frac{E_1 F_1}{h_1} = 1,5\pi \frac{E_2 F_2}{h_2}, \quad (3)$$

что совпадает с условием полной звукоизоляции [1]. Если упругий элемент выполнен в виде стальной пружины, то

$$f_u = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{k}{M}}, \quad \text{а } k = \frac{E_1 F_1}{1,5\pi h_1}, \quad (4)$$

причем  $k$  — жесткость пружины,  $M$  — ее масса. С учетом потерь  $\eta_2$  в элементе 4 соблюдение зависимости (3) приводит к дополнительной виброизоляции (сверх величины виброизоляции, создаваемой элементом 3), равной  $\Delta V = 20 \lg 2/\eta_2$ . При использовании в качестве элемента 4 стальных пружин ( $\eta_2 = 10^{-4}$ ),  $\Delta V = 86 \text{ дб}$ , т. е. практически обеспечивается полная виброизоляция.



Фиг. 3

Фиг. 2 поясняет физическую сторону явления. Усилие в элементе 3 (а) постоянно по высоте, так как при условии  $f_u < \frac{c_1}{6h_1}$  длина продольной волны в этом элементе велика по сравнению с его высотой  $h_1$ . В таком режиме обычно и работают амортизаторы. Усиление в элементе 4 (б) распределяется по высоте неравномерно вследствие возникновения в нем волновых явлений. В месте примыкания к элементу 1 величины усилий в элементах 3 и 4 распределяются пропорционально их жесткостям. В месте примыкания к элементу 2 усилие в элементе 4 меняет знак, а при соблюдении равенства (3) становится равным по величине усилию в элементе 3. Поскольку элементы 3 и 4 передают массе 2 усилия разных знаков, то суммарная величина усилия оказывается равной нулю.

Экспериментально указанный эффект исследовался на электродинамическом вибраторе. Столик вибратора служил в качестве элемента 1. Через упругие резиновые прокладки (элемент 3) с динамической жесткостью 425 кг/см на столик укладывался элемент 2. Вибратор питался звуковым генератором через усилитель мощности. Вибрация элемента 2 измерялась пьезоэлектрическим датчиком, напряжение с которого через усилитель подавалось на вход лампового вольтметра. Частотная характеристика уровня вибрации  $V$  массы 2 на резиновых прокладках приведена на фиг. 3 (кривая 1).

Далее, между элементами 1 и 2 дополнительно были установлены стальные пружины (элемент 4) с жесткостью 78 кг/см. Кривая 2 на фиг. 3 изображает частотную характеристику уровня вибрации элемента 2 при наличии упругих элементов 3 и 4. Уровень вибрации снизился в этом случае на частоте 224 гц на 22 дб, хотя общая жесткость прокладок увеличилась на 18%. Вычисленная величина  $f_u = 230$  гц. Отношение жесткостей элементов 3 и 4 составило 5,45, что на 15% отличается от оптимального, согласно условию (3).

В другом опыте была применена система двух стальных пружин с жесткостью несущей пружины 50,5 кг/см. При частоте  $f_u = 80$  гц дополнительное снижение уровня вибрации составило 32 дб.

Более точная настройка системы должна дать еще большее уменьшение передачи вибрации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Заборов. О звукоизоляции двойного ограждения с пористым упругим промежуточным слоем. Акуст. ж., 1963, 9, 2, 182—186.

Уральский филиал Академии  
строительства и архитектуры СССР  
Челябинск

Поступило в редакцию  
22 октября 1962 г.

#### К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В МЕЛКОМ СЛОЕ ПРЭСНОВОДНОГО ВОДОЕМА

Л. Н. Захаров, В. С. Нестеров, Э. Г. Федосеева

Волнение свободной поверхности водного слоя может вызвать, наряду с флюктуациями акустического сигнала, повышенную утечку энергии в грунт, и, следовательно, привести к увеличению горизонтального затухания. Механизм дополнительного затухания связан с возможным расщеплением нормальных волн низших порядков из-за неровностей свободной границы на спектры волн всех порядков, способных распространяться в данном слое. Поскольку коэффициенты затухания нормальных волн в слое пропорциональны в первом приближении квадратам их порядковых номеров, то перекатка энергии от низших номеров к высшим должна привести к увеличенному затуханию поля в целом. Затухание суммарного поля в слое («Закон убывания») целесообразно описывать как убывание с расстоянием осредненного по глубине водного слоя квадрата модуля звукового давления. Теоретические формулы, позволяющие оценить зависимость закона убывания от свойств подстилающей среды и других факторов, приведены в работе [1]. Производя уточнение расчетов закона убывания, изложенных в [1], можно получить единую формулу, пригодную для плоского слоя с неподвижными границами, начиная от источника и до весьма значительных горизонтальных расстояний:

$$\overline{|P|^2} \sim \frac{1}{4k \cdot x} \sqrt{\frac{H}{\alpha \cdot x}} \left\{ \Phi \left( N + \frac{1}{2} \sqrt{\alpha \cdot x} \right) - \Phi \left( \frac{1}{2} \sqrt{\alpha \cdot x} \right) \right\}, \quad (1)$$

где  $k$  — волновое число,  $x$  — горизонтальное расстояние от источника,  $N$  — число нормальных волн в слое при данном  $k$ ,  $\Phi$  — символ интеграла вероятности,  $\alpha$  — величина, определяемая акустическими свойствами дна, частотой и глубиной места.