

## ОБ ЭФФЕКТЕ ПОВЫШЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ЛЕГКИХ ПЕРЕГОРОДОК НА НИЗКИХ ЧАСТОТАХ

Винокур Р. Ю.

Звукоизоляция легких одинарных перегородок на низких частотах (100–400 Гц), как показывают измерения (в частности, [1]), обычно выше, чем следует из закона массы для диффузного падения звука. Рядом авторов [2–4] решалась задача о звукоизоляции стены помещения, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда, однако результаты имеют сложный вид, затрудняющий физическую интерпретацию наблюдаемого эффекта. В настоящей работе исследуется звукоизоляция (на низких частотах) легкой перегородки, установленной в проеме стены между помещениями высокого (где находится акустический источник) и низкого уровней звука. Сначала оценим звукоизоляцию пластины, которая закрывает отверстие в звукопроницаемой стене, разделяющей на две части бесконечный волновод с абсолютно жесткими стенками. Полагаем, что звуковые поля в обоих полуволноводах являются одномерными, пластина смещается под действием звука подобно поршню, а толщиной стены и пластины пренебрегаем (по сравнению с длиной звуковой волны). В строительной акустике коэффициент прохождения звука  $\tau$  через пластину определяется как отношение прошедшей и падающей на нее звуковых мощностей [5]. На основе теории узких труб [6] получаем

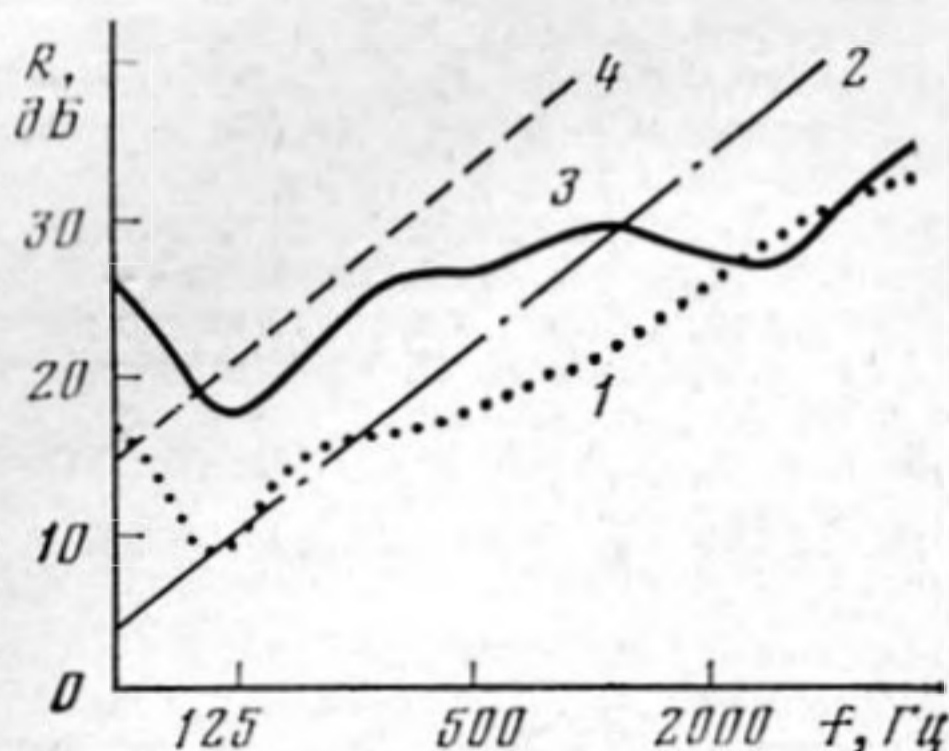
$$\tau = \left[ \frac{S_0}{S} + \left( \frac{\pi M f}{\rho c} \right)^2 \frac{S}{S_0} \right]^{-1}. \quad (1)$$

Здесь  $S$  – площадь сечения волновода,  $S_0$  и  $M$  – площадь и поверхностная плотность пластины,  $f$  – частота звука,  $\rho$  и  $c$  – плотность и скорость звука в воздухе. В случае  $S=S_0$  (пластина перекрывает волновод по всей площади его сечения) формула (1) соответствует закону массы для нормального падения звука [5]. На практике соотношение параметров, входящих в формулу (1), обычно таково, что позволяет пренебречь первым слагаемым, поэтому соответствующая звукоизоляция

$$R(f) \approx R_0(f) + 10 \lg \left( \frac{S}{S_0} \right), \quad (2)$$

где  $R_0(f)$  – звукоизоляция по закону массы для нормального падения. Видно, что эффект повышения звукоизоляции по сравнению с величиной  $R_0(f)$  может быть значительным (10 дБ при  $S/S_0=10$ ). Можно показать, что формулы (1) и (2) верны и тогда, когда площади сечений полуволноводов различны: в этом случае  $S$  – площадь сечения полуволновода, в который звук проникает через пластину. Предположение о поршневом характере колебаний пластины приемлемо, если  $f_c \approx 2f_p$  [5] ( $f_c$  – среднегеометрическая частота используемой при измерениях полосы частот, обычно октавной или третьоктавной;  $f_p$  – основная резонансная частота изгибных колебаний пластины) и давление падающих на пластину волн примерно одинаково по всей ее площади (это имеет место при нормальном падении звука, а если длина волны намного больше размеров пластины, то и при наклонном). Последнее условие можно задать в виде  $f_c \approx f_n$ , где  $f_n$  – минимальная частота пространственного резонанса [7]. Для шарнирно опертой прямоугольной пластины площадью  $S_0=b_1 \times b_2$   $f_n=c\sqrt{b_1^2+b_2^2}/(2b_1b_2)$  [8]. Предположение об одномерности звукового поля в полуволноводе прямоугольного сечения площади  $S=a_1 \times a_2$  ( $a_1 \geq a_2$ ) справедливо при  $f_c \approx f_{10}=c/(2a_1)$ . Однако в обычном случае примерно симметричного расположения пластины относительно центра стены это предположение приемлемо и при  $f_c \approx f_{20}=c/a_1$  для полуволновода, в который звук проникает через пластину [6]. Звукоизоляция стены между помещениями на практике, как правило, значительно выше звукоизоляции легких перегородок, поэтому предположение о звукопроницаемости стены вполне оправдано. Если стену с пластиной отделяют друг от друга две трубы, ограниченные с торцов стенками, частично поглощающими звук, то при определенных условиях [5] акустические поля в этих трубах являются одномерно-диффузными и значение звукоизоляции по формуле (2) может быть получено экспериментальным путем из выражения

$$R=L_1-L_2+10 \lg (S_0/A), \quad (3)$$



Частотные характеристики звукоизоляции  $R$  перегородок толщиной 0,003 м (1, 2) и 0,012 м (3, 4): 1 и 3 – эксперимент, 2 и 4 – расчет по закону массы для нормального падения звука



где  $L_1$  и  $L_2$  — уровни звукового давления в «шумной» (с источником звука) и «тихой» трубах,  $A$  — эквивалентная площадь звукопоглощения внутренней поверхности «тихой» трубы. Оценки показывают, что использование формулы (3) приемлемо уже при  $f_c \approx 2-3f_k$ , если значения  $L_1$  и  $L_2$  соответствуют усредненным по пространству квадратам величин звукового давления в трубах; здесь основная резонансная частота осевых мод  $f_k = c/(2L)$  [5], где  $L$  — длина более короткой трубы. Заметим, что формула (3) по внешнему виду совпадает с выражением, применяемым для определения звукоизоляции экспериментальным путем [5]; поэтому эффект повышения звукоизоляции должен наблюдаться и при измерении по стандартной методике. Таким образом, звукоизоляция пластины (вне области волнового совпадения) в диапазоне  $\max\{2f_p, 2f_k\} \approx f_c \approx f_{20}$  определяется выражением (2), при  $c/a_2 = f_{02} \approx f_c \approx f_p$  приблизительно соответствует закону массы для нормального падения и с дальнейшим ростом частоты начинает подчиняться закону массы для диффузного падения. На фигуре даны измеренные и рассчитанные по закону массы для нормального падения частотные характеристики звукоизоляции двух одинарных перегородок площадью  $1 \times 1$  м<sup>2</sup> (из древесноволокнистых материалов), установленных в стене площадью  $\sim 3 \times 4,7$  м<sup>2</sup> между помещениями длиной по 6 м (т.е.  $f_p \approx 240$  Гц,  $f_{20} \approx 72$  Гц,  $f_{02} \approx 113$  Гц,  $f_k \approx 28$  Гц). Толщины, поверхностные плотности, основные резонансные частоты изгибных колебаний и граничные частоты волнового совпадения перегородок равны соответственно 0,003 и 0,012 м, 3 и 12 кг/м<sup>2</sup>, 6 и 24 Гц, 10 и 2,5 кГц. Видно, что развитые выше теоретические представления согласуются с экспериментальными данными (так, согласно формуле (2), звукоизоляция перегородок на 63 Гц равна соответственно 16 и 27 дБ).

Заметим, что повышение звукоизоляции на низких частотах, обусловленное одномерностью звуковых полей в помещениях, будет иметь место и при замене пластины слоистой перегородкой: в этом случае величина  $R_0(f)$  в формуле (2) соответствует звукоизоляции слоистой перегородки при  $S = S_0$ .

Автор благодарит С. А. Рыбака за внимание к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Peutz V. Some fundamental measurements on single and double plate structures.— *Acustica*, 1954, v. 4, № 1, p. 281–284.
2. Римский-Корсаков А. В., Седельников Т. Х. Расчет звукоизоляции прямоугольной перегородки.— В кн.: Борьба с шумами и вибрациями. М.: Стройиздат, 1966, с. 341–343.
3. Седов М. С. Аналитические частотные характеристики звукоизолирующей способности однослойных ограждений.— В кн.: Борьба с шумами и вибрациями. Т. I. Волгоград: Нижневолжский центр научно-технической информации, 1972, с. 62–64.
4. Josse P., Lamure R. H. Transmission du son par une parac simple.— *Acustica*, 1964, v. 14, № 5, p. 266–280.
5. Beranek L. L. Noise Reduction. New York — Toronto — London: Mc Graw — Hill Book Company, 1960, 752 p.
6. Ржевкин С. Н. Курс лекций по теории звука. М.: Изд-во Московск. ун-та, 1960. 336 с.
7. Лямшев Л. М. Отражение звука тонкими пластинками и оболочками в жидкости. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 74 с.
8. Винокур Р. Ю., Лалаев Э. М. Метод расчета звукоизоляции тройных остеклений с герметичными притворами.— В кн.: Борьба с шумом и звуковой вибрацией. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1979, с. 37–43.

Московский научно-исследовательский и проектный институт типового и экспериментального проектирования

Поступила в редакцию  
20.II.1981

УДК 534.222

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ЗВУКА

Калачев А. И., Островский Д. Б.

В работах [1–4] вторичное поле разностной частоты исследуется вдали от области взаимодействия первичных пучков. Однако в экспериментах часто измерения проводятся в самой области взаимодействия. На невысоких первичных частотах эта область может простирается на сотни и тысячи метров, вследствие чего измерение вторичного поля вдали от области взаимодействия может оказаться практически невозможным. Кроме того, иногда параметрический излучатель необходимо использовать для работы на небольших расстояниях. Поэтому представляются важными исследования ближнего поля параметрического излучателя звука, т. е. поля в самой области взаимодействия или вблизи этой области.