

УДК 534.574.624

## СОЗДАНИЕ ЭКОЛОГИЧНОЙ ЗВУКОВОЙ СРЕДЫ В ЗДАНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ СЛОИСТЫХ ОГРАЖДЕНИЙ С ВИБРОПОГЛОЩЕНИЕМ

© 2011 Л.Э. Шашкова, А.А. Кочкин

Вологодский государственный технический университет

Поступила в редакцию 05.10.2011

В статье представлены звукоизолирующие слоистые ограждения с вибродемпфированием для создания звукового комфорта в зданиях и на территории застройки.

Ключевые слова: *экология, звуковая среда, слоистые конструкции, вибропоглощение, изгибная жесткость*

Одним из аспектов сложной экологической обстановки в городах являются повышенные уровни шума, связанные с увеличением интенсивности движения автомобильного транспорта, внедрением нового бытового, инженерного и санитарно-технического оборудования, которые оказывают вредное воздействие на человека не только на селитебной территории, но и на рабочем месте и в жилье. Мероприятия по защите населения от этого вредного фактора направлены на создание комфортной звуковой среды и являются средствами акустической экологии. В условиях городской застройки возникает проблема повышения звукоизоляции ограждающих конструкций не только в новых проектируемых зданиях и сооружениях, но и в уже существующих. Одним из перспективных способов снижения проникающих уровней шума является использование звукоизолирующих ограждающих конструкций. Разработка современных ограждений с повышенными звукоизоляционными характеристиками является актуальным направлением научных исследований, имеет важное экологическое и социально-экономическое значение. Однако известное решение нередко идет по пути увеличения массы звукоизолирующих конструкций, как следствие требуется увеличение несущей способности всех несущих конструкций здания, т.е. ведет к удорожанию строительства. В связи с этим необходимо создание новых конструкций, отвечающих заданным звукоизоляционным

требованиям при меньшей поверхностной плотности, чем традиционные ограждения.

Примером таких конструкций являются легкие ограждения из слоистых элементов, широко используемые в настоящее время в строительстве. Проведенные исследования подтверждают, что данные конструкции при целенаправленном их проектировании с заданными звукоизоляционными характеристиками можно использовать для создания экологичной звуковой среды в зданиях. Конструктивные решения легких звукоизолирующих ограждений могут быть: однослойные; однослойные с вибродемпфирующим покрытием (ВДП); двухслойные; многослойные вибродемпфированные панели; звукоизолирующие конструкции из слоистых вибродемпфированных панелей (СВДП), которые делятся на светопрозрачные и непрозрачные. Светопрозрачные конструкции: двойные конструкции из слоистых вибродемпфированных панелей; тройные конструкции из стекла и слоистых вибродемпфированных панелей; а также однокамерные и двухкамерные стеклопакеты. Непрозрачные конструкции делятся на: двойные конструкции из слоистых вибродемпфированных панелей с заполнением воздушного промежутка звукопоглощающим материалом; а также с измененной изгибной жесткостью. Непрозрачные конструкции могут применяться как конструкции дополнительной звукоизоляции существующих перегородок, стен, междуэтажных перекрытий и как элементы для защиты от шума оборудования в промышленности и на транспорте.

При исследовании слоистых конструкций выявлено, что их звукоизоляция значительно возрастает в случае введения в конструкцию слоев из вибродемпфирующих материалов,

*Шашкова Лола Эдуардовна, старший преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства. E-mail: loli-sha@yandex.ru*  
*Кочкин Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-строительного факультета. E-mail: pgs@vstu.edu.ru*

повышающих конструкционные коэффициенты потерь в ограждении. Однако оставался неизученным вопрос влияния материала слоев конструкции и изгибной жесткости слоистой конструкции на ее звукоизоляционные характеристики в различных частотных диапазонах с целью проектирования эффективных звукоизоляционных конструкций с использованием современных строительных материалов.

Для определения звукоизоляции СВДП рассмотрим процесс прохождения звука через прямоугольную в плане трехслойную панель размером  $a \times b$  с промежуточным вибродемпфирующим слоем с шарнирным опиранием по контуру. Отклик панели записываем в виде:

$$W = \sum_{m=1}^{\infty} W_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}, \quad (1)$$

где числа  $m$  и  $n$  характеризуют числа проекций половины длины упругих волн на оси  $x=0$ ,  $a$ ,  $y=0$ ,  $b$ . Анализ выражения амплитуды колебаний панели  $W_{mn}$  указывает, что ее значения различны для отдельных областей частот. На основе анализа можно сказать, что степень прохождения звука будет наибольшей на высоких частотах, пониженной – на средних и наименьшей – на низких.

Величину излучаемой акустической мощности определим как произведение колебательной скорости панели и звукового давления прошедших звуковых волн по площади  $a \times b$ . В результате получаем выражение для области полных пространственных резонансов:

$$P_2^n = \frac{\rho_0 c_0}{2} a b v_{mn}^2 S_{mn}, \quad (2)$$

где  $v_{mn}^2$  - квадрат колебательной скорости;  $S_{mn}$  - коэффициент излучения:

$$S_{mn} = \frac{1}{\Delta f} (f_2 \cos \theta_2 - f_1 \cos \theta_1)$$

Здесь  $\theta$  – угол падения (излучения);  $\Delta f = f_2 - f_1$ ; индексы "2" и "1" относятся к верхней и нижней частотам полосы  $\Delta f$ .

$$R = 101g1,41\mu^2 f_{cp} \Delta f \cdot \eta / 10^4 / S_{MH} (\cos 2\theta_2 - \cos 2\theta_1), \quad (5)$$

где  $\eta$  – суммарный коэффициент потерь. Для области неполных пространственных резонансов:

$$R = 101g2,8\mu^2 f_{cp} \Delta f \cdot \eta / 10^3 [1 - (f_{cp} / f_2)^2] S_{mn_0}. \quad (6)$$

Для области средних частот, где преимущественный вклад делают неполные пространственные резонансы, получаем зависимость:

$$P_2^H = \frac{\rho_0 c_0}{2} a a \frac{4}{\pi^2} \frac{f_2 \cos \theta_2}{\Delta f} \times \left[ v_{m_0} m_2 \frac{n_{cp}^2}{(n_{cp}^2 - n_{cp}^{12})^2} + v_{m_0 n}^2 n_2 \frac{m_{cp}^2}{(m_{cp}^2 - m_{cp}^{12})^2} \right], \quad (3)$$

где числа  $m$  и  $n$  характеризуют числа звуковых полуволн.

Величину скорости распространения упругих волн можно определить из дифференциального уравнения движения трехслойной панели [1]:

$$C_u^6 C_s^2 + C_u^4 C_s^4 - C_u^2 C_2^4 C_s^2 - C_1^4 C_3^4 = 0 \quad (4)$$

Здесь  $\tilde{N}_1, C_2, C_s$  - скорости изгибных и сдвиговых волн в однослойной пластине с различными цилиндрическими жесткостями.

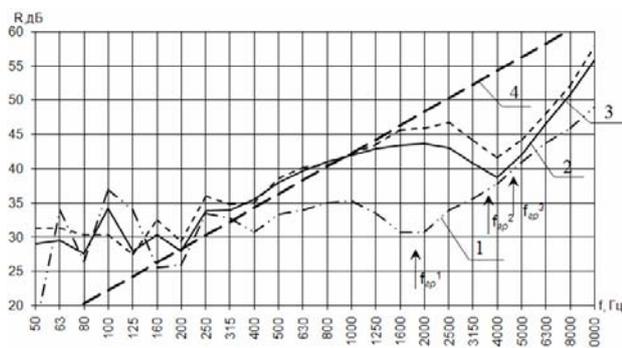
В соответствии с изложенным при проектировании трехслойных ограждений, звукоизоляция которых во всем расчетном диапазоне частот определяется законом массы, необходимо выполнить, по меньшей мере, два требования. Первое требование: скорость сдвиговых волн среднего слоя, нагруженного с обеих сторон массой обкладок, должна быть меньше скорости звука в воздухе  $C_s < C_0$ . Второе требование: граничная частота некоторой пластины с поверхностной плотностью  $m'$  и цилиндрической жесткостью  $\left(F - \frac{TLh_3}{N}\right)$  должна лежать выше расчетного диапазона частот, т.е.

$$\frac{C_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu N}{(FN - TLh_3)}} > f_{pac}.$$

Полученные выражения колебательных скоростей и излучаемой акустической мощности позволяют определить звукоизоляцию слоистых вибродемпфированных панелей (СВДП). Так, для области полных пространственных резонансов получаем:

Легко видеть, что в области частот звукоизоляция (6) зависит от размеров ограждения. С их увеличением звукоизоляция повышается и в области простых пространственных резонансов выражение звукоизоляции получаем в виде:

$$R = 101g1,14^2 \mu f_{cp} \Delta f \cdot \eta / 10^3 \left[ 1 - (f_{cp} / f_2)^2 \right] S_{m_0 n_0} \quad (7)$$



**Рис. 1.** Частотные характеристики звукоизоляции ограждения, состоящего:

1 — из гипса толщиной 20,0 мм:  $R_w=26$ дБА; 2 — из двух гипсоволокнистых листов (ГВЛ) толщиной по 10,0 мм и прослойки из техноэласта толщиной 3,0 мм,  $\mu=31,00$  кг/м<sup>2</sup> без пропилов,  $R_w=41$ дБА; 3 — с пропилами с двух сторон,  $R_w=43$ дБА; 4 — закон массы

Экспериментальные исследования СВДП и однослойных ограждений равных по поверхностной плотности представлены на рис. 1. Видно, что звукоизоляция слоистых вибродемпфированных панелей по сравнению с однослойными незадемпфированными ограждениями, равными по поверхностной плотности, повышается за счет смещения граничного полного пространственного резонанса в область более высоких частот, а также за счет увеличения общего коэффициента потерь.

В настоящее время широкое распространение получили внутренние ограждающие конструкции в виде каркасных перегородок с обшивками из плитных листовых материалов из гипсокартоновых листов (ГКЛ) или гипсоволокнистых листов (ГВЛ); перегородки из пазогребневых блоков. Главным недостатком данных ограждений является их низкая звукоизоляция по сравнению с более массивными конструкциями. Известно решение по увеличению индекса изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями проектируемых или существующих зданий с использованием обшивок из слоистых вибродемпфированных панелей [2,4] на 4-7 дБ. Результаты исследований, проведенные в больших реверберационных камерах лаборатории акустики ВоГТУ, представлены на рис. 1, где видно, что кривая звукоизоляции в области средних и высоких частот максимально приближается к закону массы.

Представляет интерес изучение влияния на звукоизоляцию изгибной жесткости слоистой конструкции в различных частотных диапазонах. Подтверждение теории Кремера [5] получил Ю.М. Ильяшук [6], который экспериментально доказал, что после уменьшения изгибной жесткости ограждения путем нанесения пропилов происходит смещение граничной частоты волнового совпадения в область более высоких частот. Результаты исследования звукоизоляции СВДП с измененной изгибной жесткостью представлены на рис. 1 (кривая 3). С целью уменьшения изгибной жесткости панели без изменения ее массы в наружных «жестких» слоях выполняются пропилы [3]. Таким образом, экспериментально подтверждено, что уменьшение изгибной жесткости слоистой вибродемпфированной панели обеспечивает повышение звукоизолирующих характеристик в области средних и высоких частот. На практике данное явление может быть использовано при необходимости увеличения звукоизоляции воздушного шума ограждающими конструкциями зданий.

Как видно из формул (5)-(7), звукоизоляция СВДП в широком диапазоне частот, в том числе на низких и средних частотах, управляется массой, частотой звука, коэффициентом потерь, зависит от размеров ограждения и его жесткостных параметров. Подсчетом звукоизоляции можно убедиться, что для случая больших внутренних потерь существует некоторый эффективный коэффициент потерь, превышение которого не приводит к росту звукоизоляции из-за заметного здесь вклада излучаемой мощности чисто вынужденными волнами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кочкин, А.А. О звукоизоляции ограждающих конструкций с вибропоглощением // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2006. № 10. С. 20-21.
2. Пат. № 106269 Российская Федерация. Звукоизолирующая панель с вибродемпфирующими слоями / А.А. Кочкин; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный технический университет.- № 2010148952/03 (070716); заявл. 30.11.2010; опубл. 10.07.2011; бюл. № 19. 4 с.
3. Пат. № 107802 Российская Федерация. Звукоизолирующая вибродемпфированная слоистая

- панель с измененной изгибной жесткостью / *А.А. Кочкин, Л.Э. Шашкова*; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный технический университет. - № 2010150067/03 (072304); заявл. 06.12.2010; опубл. 27.08.2011; бюл. № 24. 4 с.
4. Пат. № 108057 Российская Федерация Двойная звукоизолирующая конструкция с обшивками из слоистых вибродемпфированных панелей / *А.А. Кочкин, Н.А. Кочкин*; заявитель патентообладатель Вологодский государственный технический университет. - № 2011116574; заявл. 26.04.2011; опубл. 10.09.2011, Бюл. № 25. с. 2.
5. *Cremer, L.* Theorie der Schalldämmung, dunner Wände bei schragem Einfall. - *Akustische Zeitschrift*, 1942. No.7. S. 81-104.
6. *Ильяшук, Ю.М.* Влияние жесткости ограждающих конструкций на их звукоизоляцию. Сборник «Борьба с шумом и действие шума на организм». – Л., ЛИОТ, 1958, вып. 2. С. 56-76.

## CREATION THE HARMLESS SOUND MEDIUM IN BUILDINGS WITH THE USE OF SOUNDPROOFING LAYERED PROTECTIONS WITH VIBRODAMPING

© 2011 L.E. Shashkova, A.A. Kochkin

Vologda State Technical University

In article soundproofing layered protections with vibrodamping for creation the sound comfort in buildings and in building territory are presented.

Key words: *ecology, sound medium, layered designs, vibrodamping, flexural rigidity*