

УДК 658.2:628.517.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТЫХ ВИБРОДЕМПФИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
И КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НИХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА**

**INVESTIGATION OF LAYERED VIBRODAMPED ELEMENTS
AND STRUCTURES FROM THEM FOR NOISE REDUCTION**

А.А. КОЧКИН, И.Л. ШУБИН
A.A. KOCHKIN, I.L. SHUBIN

**(Вологодский государственный университет,
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук)
(Vologda State University,**

Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences)
E-mail: aakochkin@mail.ru; niisf@niisf.ru

Приведены результаты исследований звукоизоляции слоистых вибродемпфированных элементов (СВДЭ). Показано повышение звукоизоляции СВДЭ по сравнению с однослойными ограждениями равной поверхностной плотности. Выполненный анализ показывает на значительные резервы повышения звукоизоляции за счет регулирования параметров слоев СВДЭ.

The results of studies of soundproofing of layered vibrodamped elements (SVDE) are presented. The increase in sound insulation of SVDE is shown in comparison with single-layer fences of equal vertex density. The performed analysis shows considerable reserves to increase the sound insulation by adjusting the parameters of the layers of the SVDE.

Ключевые слова: звукоизоляция, слоистый вибродемпфированный элемент, граничная частота волнового совпадения, коэффициент потерь.

Keywords: sound insulation, layered vibrodamped element, boundary frequency of wave coincidence, loss factor.

Одним из эффективных способов создания комфортной звуковой среды в зданиях и на территории застройки является изоляция воздушного шума ограждающими конструкциями. Этот способ рассмотрен в основном для ограждений из однослойных элементов [1...7].

Для повышения звукоизоляции таких ограждений необходимо увеличивать массу, что приводит к увеличению толщины ограждений и нагрузок на элементы здания. Необходимо находить конструктивные меры по повышению звукоизоляции и снижению массы ограждающих конструкций. В качестве таких конструкций предлагаются слоистые вибродемпфированные элементы, состоящие из двух жестких слоев (стекла, металла, гипсокартонных и гипсоволокнистых листов) и внутреннего вибродемпфирующего слоя.

В отличие от традиционных конструкций, применяемых для целей звукоизоляции, данные ограждения имеют высокий конструкционный коэффициент потерь и повышенную устойчивость.

Исследование звукоизоляции ограждающих конструкций из слоистых вибродемпфированных элементов и динамические характеристики вибродемпфированных материалов показаны в работах [8...12].

Рассматриваем 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:

$$P = \sum_{m'=0}^{\infty} \sum_{n'=0}^{\infty} P_{0m'n'} \sin \frac{m'\pi x}{a} \sin \frac{n'\pi y}{b},$$

где числа m' и n' характеризуют числа проекций половины длины упругих волн на оси $x = 0, a, y = 0, b$.

$$\bar{W}_2^H = \frac{\rho_0 c_0}{2} ab \frac{4}{\pi^2} \frac{f_b \cos \theta_b}{\Delta f} \left[\tilde{V}_{mn_0}^2 m_b \frac{n_{cp}^2}{(n_{cp}^2 - n_{cp}'^2)^2} + \tilde{V}_{m_0 n}^2 n_b \frac{m_{cp}^2}{(m_{cp}^2 - m_{cp}'^2)^2} \right],$$

где числа m и n характеризуют числа звуковых полуволн.

Полученные выражения излучаемой акустической мощности позволяют определить звукоизоляцию слоистых ограждений. Так,

На величину скорости упругих волн существенное влияние оказывают сдвиговые деформации в промежуточном слое.

Анализ выражения амплитуды колебаний панели $P_{0m'n'}$ указывает, что ее значения различны для отдельных областей частот. На основе анализа можно сделать вывод, 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 элемента и звукового давления прошедших звуковых волн по площади $a \times b$. В результате получаем выражение для области полных пространственных резонансов:

$$W_2 = \frac{\rho_0 c_0}{2} ab \tilde{V}^2 \bar{S},$$

где \tilde{V}^2 – квадрат колебательной скорости; \bar{S} – коэффициент излучения:

$$\bar{S} = \frac{1}{\Delta f} (f_2 \cos \theta_{2B_2C_2} - f_1 \cos \theta_{1B_1C_1}).$$

Здесь θ – угол падения (излучения);

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

– индексы 2 и 1 относятся к верхней и нижней частотам полосы Δf .

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

для области полных пространственных резонансов получаем:

$$R = 10 \ell g \frac{1,41}{10^4} \frac{m^2 f_{nm} \Delta f \eta}{\bar{S} (\cos 2\theta_b - \cos 2\theta_n)},$$

а для области неполных пространственных резонансов:

$$R = 10 \lg \frac{2,8 m^{12} f_{\text{mn,ср}} \Delta f \eta}{10^4 N(\Delta f, \theta) \bar{S}}$$

Как видно из приведенных здесь формул, звукоизоляция трехслойных ограждений 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.

Могут быть случаи, когда при очень высоком коэффициенте потерь собственные волны элемента сильно демпфируются и звукоизоляция фактически управляется законом массы.

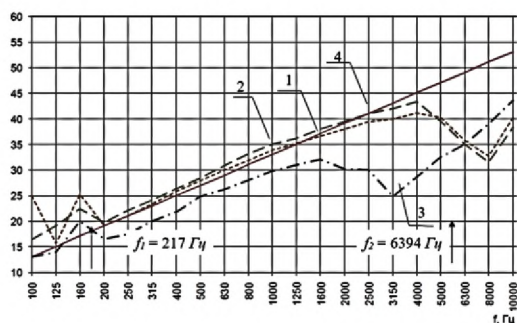


Рис. 1

Здесь же представлены частотные характеристики звукоизоляции однослойных ограждений, равных по поверхностной плотности слоистым. На рисунках видно, что звукоизоляция слоистых вибродемпфированных элементов 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 увеличения общего коэффициента потерь.

ВЫВОДЫ

Полученные расчетные формулы используются при проектировании прозрачных и непрозрачных звукоизолирующих ограждений технологического оборудования произ-

Сравнение расчетной частотной характеристики звукоизоляции слоистого вибродемпфированного элемента с экспериментальными данными свидетельствует об их хорошей сходимости (рис. 1 – частотные характеристики звукоизоляции ограждений: слоистое из двух листов дюралюминия толщиной по 2 мм и прослойка из бутвела толщиной 1 мм (1 – эксперимент, 2 – расчет) и однослойное из дюралюминия толщиной 4 мм (3), закон массы (4)) и рис. 2 – частотные характеристики звукоизоляции слоистого вибродемпфированного элемента, состоящего из двух листов ГКЛ толщиной по 10 мм и прослойки из мастики толщиной 1 мм: 1 – экспериментальная кривая; 2 – расчетная кривая; 3 – закон массы)).

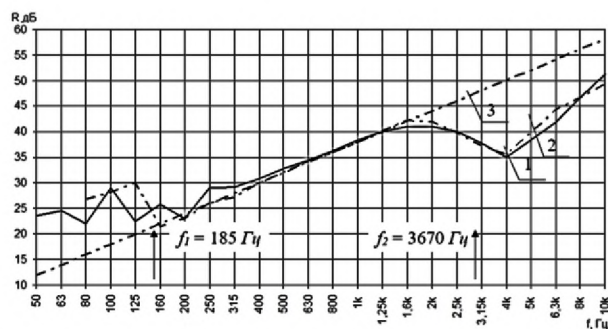


Рис. 2

водственных предприятий, перегородок и перекрытий гражданских зданий. Повышение звукоизоляции исследуемых слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с однослойными ограждениями равной поверхностной плотности достигается за счет смещения граничной частоты волнового совпадения в область более высоких частот и повышенного коэффициента потерь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овсянников С.Н., Скрипченко Д.С. Исследование звукоизоляционных свойств материалов при различных статических нагрузках // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №4. С. 40...44.
2. Лелюга О.В., Овсянников С.Н. Исследование звукоизолирующей способности облегченных перегородок // Вестник Томского гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2014, №5 (46). С. 98...105.

3. Старцева О.В., Овсянников С.Н. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции перегородок // Вестник Томского гос. архит.-строит. ун-та. – 2013, №2 (39). С. 176...184.

4. Бобылев В.Н., Тишков В.А., Монич Д.В., Гребнев П.А. Звукоизоляция однослойных перегородок из гипсовых материалов // Бюллетень строительной техники. – 2017, №6 (994). С. 20...22.

5. Бобылев В.Н., Паузин С.А., Тишков В.А., Монич Д.В., Гребнев П.А. Оптимизация жесткости ортотропного ограждения для увеличения его звукоизоляции // Приволжский научный журнал. – 2017, №2 (42). С. 24...30.

6. Гусев В.П., Сидорина А.В., Антонов А.И., Леденев В.И. Проектирование звукоизоляции крупногабаритных вентиляционных каналов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №2. С. 254...260.

7. Леденев В.И., Матвеева И.В., Федорова О.О. О комплексных исследованиях оконных заполнений как элементов оболочки здания по условиям обеспечения ими светового, инсоляционного, теплового, шумового режимов и электромагнитной безопасности в гражданских зданиях // Приволжский научный журнал. – 2017, №1 (41). С. 20...26.

8. Кочкин А.А., Кочкин Н.А., Киряткова А.В. Исследование звукоизоляции светопрозрачных вибродемпфированных элементов и ограждающих конструкций из них // Строительство и реконструкция. – 2017, №3 (71). С. 68...74.

9. Кочкин А.А., Шубин И.Л., Шашкова Л.Э., Кочкин Н.А. Проектирование звукоизоляции слоистых элементов конечных размеров // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №4. С. 161...167.

10. Кочкин А.А., Шубин И.Л., Кочкин Н.А., Киряткова А.В. О регулировании звукоизоляции слоистых вибродемпфированных элементов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №4. С. 181...187.

11. Кочкин А.А., Шубин И.Л., Кочкин Н.А. Расчет колебательной скорости и излучаемой мощности элементов конечных размеров в условиях различных резонансов // Жилищное строительство. – 2016, №7. С. 15...19.

12. Кочкин А.А., Шубин И.Л., Кочкин Н.А. О прохождении и излучении звука в слоистых вибродемпфированных элементах // Строительство и реконструкция. – 2016, №3 (65). С. 119...125.

REFERENCES

1. Ovsyannikov S.N., Skripchenko D.S. Issledovanie zvukoizolyacionnyh svojstv materialov pri razlichnyh staticheskikh nagruzkah // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2016, №4. S.40...44.

2. Lelyuga O.V., Ovsyannikov S.N. Issledovanie zvukoizoliruyushej sposobnosti oblegchennyh peregorodok // Vestnik Tomskogo gos. arhitekt.-stroit. un-ta. – 2014, №5 (46). S. 98...105.

3. Starceva O.V., Ovsyannikov S.N. Teoreticheskie i eksperimentalnye issledovaniya zvukoizolyacii peregorodok // Vestnik Tomskogo gos. arhit.-stroit. un-ta. – 2013, №2 (39). S. 176...184.

4. Bobylev V.N., Tishkov V.A., Monich D.V., Grebnev P.A. Zvukoizolyaciya odnoslojnyh peregorodok iz gipsovych materialov // Byulleten stroitelnoj tehniky. – 2017, №6 (994). S. 20...22.

5. Bobylev V.N., Pauzin S.A., Tishkov V.A., Monich D.V., Grebnev P.A. Optimizaciya zhestkosti ortotropnogo ograzhdeniya dlya uvelicheniya ego zvukoizolyacii // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. – 2017, №2 (42). S. 24...30.

6. Gusev V.P., Sidorina A.V., Antonov A.I., Ledenev V.I. Proektirovanie zvukoizolyacii krupnogabaritnyh ventilyacionnyh kanalov // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2017, №2. S.254...260.

7. Ledenev V.I., Matveeva I.V., Fedorova O.O. O kompleksnyh issledovaniyah okonnyh zapolnenij kak elementov obolochki zdaniya po usloviyam obespecheniya imi svetovogo, insolyacionnogo, teplovogo, shumovogo rezhimov i elektromagnitnoj bezopasnosti v grazhdanskix zdaniyah // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. – 2017, №1 (41). S. 20...26.

8. Kochkin A.A., Kochkin N.A., Kiryatкова A.V. Issledovanie zvukoizolyacii svetoprozrachnyh vibrodempfirivannyh elementov i ograzhdayushih konstrukcij iz nih // Stroitelstvo i rekonstrukciya. – 2017, №3 (71). S. 68...74.

9. Kochkin A.A., Shubin I.L., Shashkova L.E., Kochkin N.A. Proektirovanie zvukoizolyacii sloistyh elementov konechnykh razmerov // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2016, №4. S.161...167.

10. Kochkin A.A., Shubin I.L., Kochkin N.A., Kiryatкова A.V. O regulirovanii zvukoizolyacii sloistyh vibrodempfirivannyh elementov // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2016, №4. S.181...187.

11. Kochkin A.A., Shubin I.L., Kochkin N.A. Raschet kolebatelnoj skorosti i izluchaemoj moshnosti elementov konechnykh razmerov v usloviyah razlichnyh rezonansov // Zhilishnoe stroitelstvo. – 2016, №7. S.15...19.

12. Kochkin A.A., Shubin I.L., Kochkin N.A. O prohozhdenii i izluchenii zvuka v sloistyh vibrodempfirivannyh elementah // Stroitelstvo i rekonstrukciya. – 2016, №3 (65). S. 119...125.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН. Поступила 18.06.18.