

УДК 534.833.522.4

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕННОЙ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ
НА ЗВУКОИЗОЛЯЦИЮ ВИБРОДЕМПФИРОВАННОГО ЭЛЕМЕНТА**

**INFLUENCE OF THE CHANGED FLEXURAL RIGIDITY
ON SOUND INSULATION OF THE VIBRODAMPING ELEMENT**

А.А. КОЧКИН, Л.Э. ШАШКОВА, И.Л. ШУБИН
A.A. KOCHKIN, L.E. SHASHKOVA, 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

Рассматривается звукоизоляция слоистых вибродемпфированных элементов с измененной изгибной жесткостью. Показано влияние шага прорезей в элементах на звукоизоляцию ограждения.

Sound insulation layered the vibrodamping elements with the changed flexural rigidity is considered. Influence of a step of cuts in elements on insulation of a protection is shown.

Ключевые слова: звукоизоляция, слоистый вибродемпфированный элемент, измененная изгибная жесткость.

Keywords: sound insulation, a layered vibrodamping element, the changed flexural rigidity.

Решение задачи по защите от повышенных уровней шума необходимо для создания акустически комфортной среды в жилых, общественных и промышленных зданиях и сооружениях, на территориях застройки, также ее решение имеет важное экологическое и социально-экономическое значение. Одним из перспективных способов снижения проникающих уровней шума является использование ограждающих конструкций с повышенными звукоизоляционными характеристиками [1...5]. Применение данного способа нередко идет по пути увеличения массы звукоизолирующих конструкций, что требует увеличения несущей способности конструкций здания, 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 акустического комфорта в зданиях [6...8].

Практика исследования и применения слоистых конструкций показала, что их звукоизоляция значительно возрастает в случае введения в конструкцию слоев из вибродемпфирующих материалов, повышающих конструкционные коэффициенты потерь в ограждении. Вместе с тем требует дополнительного изучения вопрос влияния материала слоев и изгибной жесткости слоистой конструкции на ее звукоизоляционные характеристики в различных частотных диапазонах с целью проектирования эффективных звукоизоляционных конструкций. В связи с этим разработка теоретических основ и практических методов проектирования легких ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибродемпфирующими слоями является перспективным и актуальным направлением строительной акустики по проектированию и использованию

в строительстве эффективных звукоизолирующих конструкций с применением современных строительных материалов.

Задача о влиянии изгибной жесткости однослойного ограждения на его звукоизоляцию исследовалась многими авторами [9,10]. Показано, что результаты эксперимента, в котором после уменьшения изгибной жесткости ограждения путем нанесения пропилов наблюдалось смещение граничной частоты волнового совпадения в область более высоких частот, подтверждают теорию Кремера [11].

В настоящей работе представлены результаты исследования звукоизоляции вибродемпфированных элементов с измененной изгибной жесткостью, представляющих собой наружные "жесткие" слои из гипсоволокнистых листов (ГВЛ) и других материалов, где в качестве внутреннего "мягкого" слоя используются обычные рулонные гидроизоляционные материалы, наносимые методом наплавления типа техноэласт или мастики. С целью изменения изгибной жесткости элемента, без изменения ее поверхностной плотности, в наружных "жестких" слоях выполняются пропилы [12], [13].

Испытания подтверждают, что при выполнении прорезей в конструкциях из вибродемпфированных элементов наблюдается смещение граничной частоты волнового совпадения в более высокий частотный диапазон. При этом наличие пропилов в образце приводит к возбуждению резонансных мод колебаний более высокого порядка. Эти моды колебаний (частоты, кратные частотам собственных колебаний) лежат в более высокой частотной области, и поэтому доля переизлученной мощности приходится на диапазон высоких частот. Практически происходит смещение частотной характеристики звукоизоляции вправо, то есть в область высоких частот. Оптимальный подбор расстояний между прорезями позволяет вывести провалы звукоизоляции за область нормируемого диапазона частот. Связав резонансные свойства образца с прорезями и без них, можно предположительно определить шаг выбранных прорезей.

С целью упрощения расчетов в качестве исследуемого образца выбираем прямоугольную в плане пластину со сторонами a . Прорезы выполним симметрично, то есть получим набор отдельных ячеек со стороной b .

Рассматривая случай шарнирного опирания, частоту собственных колебаний прямоугольной пластины определяем по формуле:

$$f = \frac{\pi}{2} \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\mu}}. \quad (1)$$

В случае квадратной пластины эта формула преобразуется следующим образом:

$$f_a = \frac{\pi}{2a^2} (m^2 + n^2) \sqrt{\frac{D}{\mu}}. \quad (2)$$

$$\frac{f_b}{f_a} = \frac{\pi(m_1^2 + n_1^2) \sqrt{\frac{D}{\mu}} 2a^2}{2b^2 \pi(m^2 + n^2) \sqrt{\frac{D}{\mu}}} = \frac{a^2(m_1^2 + n_1^2)}{b^2(m^2 + n^2)} = \frac{a^2 m_1^2}{b^2 m^2}. \quad (4)$$

Подставив

$$m = Nm_1,$$

имеем:

$$\frac{f_b}{f_a} = \frac{a^2 m_1^2}{b^2 N^2 m_1^2} = \frac{a^2}{N^2 b^2},$$

но

$$f_b = N f_a.$$

И соответственно для малых ячеек (после устройства прорезей):

$$f_b = \frac{\pi}{2b^2} (m_1^2 + n_1^2) \sqrt{\frac{D}{\mu}}. \quad (3)$$

Предположим, что нам нужно рассмотреть N -ю моду колебаний, то есть $f_b = N f_a$.

Считаем также, что распределение звукового давления равновероятно по обеим сторонам пластины, то есть $m = n$; $m_1 = n_1$.

Также, рассматривая моды колебаний, полагаем, что $m = Nm_1$. Далее анализируем отношение резонансных частот всей пластины и полученной ячейки:

Тогда

$$\frac{a^2}{b^2} = N^3,$$

или для размеров ячейки

$$b = \frac{a}{N\sqrt{N}}.$$

Если пластина прямоугольная, то в качестве стороны a берется наименьшая.

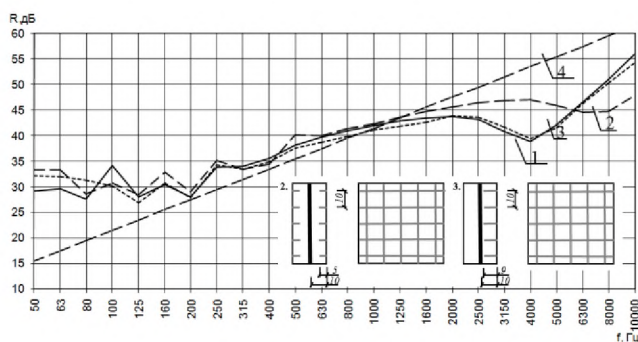


Рис. 1

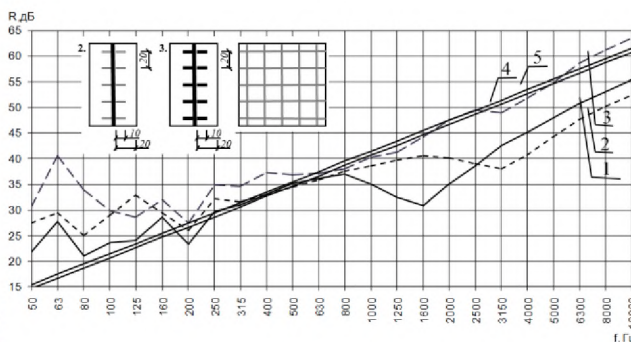


Рис. 2

Смещение граничной частоты волнового совпадения в конструкциях из вибродемпфированных элементов при наличии

прорезей подтверждает также тот факт, что это смещение происходит за счет перемещения зоны активного излучения звука в

область более высоких частот. В данном случае перераспределение акустической мощности происходит таким образом, что более интенсивно излучают высокие моды собственных колебаний, что и приводит к смещению провала звукоизоляции в область более высоких частот.

На рис. 1 (частотные характеристики звукоизоляции ВДЭ, состоящих из двух гипсоволокнистых листов (ГВЛ) толщиной по 10,0 мм и прослойки из техноэласта толщиной 3,0 мм, $\mu=28,05$ кг/м²: 1 – без пропилов, $R_w=41$ дБ; 2 – пропилы с обеих сторон элемента выполнены с шагом 10 мм на глубину 5 мм, $R_w=42$ дБ; 3 – пропилы с одной стороны элемента выполнены на глубину 9 мм, $R_w=40$ дБ; 4 – закон массы) и рис. 2 (частотные характеристики звукоизоляции ВДЭ, состоящих из двух листов фанеры толщиной по 20,0 мм и прослойки из силикона толщиной 3,0 мм, $\mu=27,5$ кг/м²: 1 – без пропилов, $R_w=38$ дБ; 2 – внутренние пропилы с двух сторон с шагом 20 мм на глубину 10 мм, $R_w=39$ дБ; 3 – внутренние пропилы с двух сторон с шагом 20 мм на глубину 10 мм заполнены силиконом, $R_w=42$ дБ; 4 – закон массы для конструкции 2; 5 – закон массы для конструкции 3, $\mu=31,0$ кг/м²) представлены результаты исследований влияния на звукоизоляцию изменения изгибной жесткости вибродемпфированного элемента.

ВЫВОДЫ

1. Анализ экспериментальных данных частотных характеристик звукоизоляции (рис.1) показывает, что наблюдается повышение звукоизоляции вибродемпфированного элемента (ВДЭ) с измененной изгибной жесткостью (ИИЖ) по сравнению с исходным ВДЭ. Смещение граничной частоты волнового совпадения в область более высоких частот наблюдается только у образцов с пропилами в обоих наружных слоях. Повышение звукоизоляции составляет до 8 дБ.

2. Для вибродемпфированных элементов с измененной изгибной жесткостью при заполнении пропилов вибродемпфиру-

ющим материалом (рис. 2) повышение звукоизоляции в области волнового совпадения и высоких частот составляет до 18 дБ, индекс изоляции воздушного шума увеличивается на 4 дБ по сравнению с исходным вибродемпфированным элементом. В однослойных ограждениях такой результат достигается при увеличении поверхностной плотности более чем в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобылев В.Н., Тишков В.А., Гребнев П.А., Монич Д.В. Резервы повышения звукоизоляции перегородок из пазогребневых гипсовых плит // Приволжский научный журнал. – 2015, № 4(36). С.41...45.
2. Антонов А.И., Леденев В.И., Соломатин Е.О., Шубин И.Л. Расчет шума при проектировании звукоизолирующих кожухов технологического оборудования //Строительные материалы. – 2015, № 6. С. 39...41.
3. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Шубин И.Л. Оценка распространения прямого звука от звукоизолирующих ограждений технологического оборудования текстильной и легкой промышленности //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №4. С. 167...173.
4. Овсянников С.Н., Скрипченко Д.С. Исследование звукоизоляционных свойств материалов при различных статических нагрузках // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №4. С. 40...44.
5. Лелюга О.В., Овсянников С.Н. Исследование звукоизолирующей способности облегченных перегородок // Вестник Томского гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2014, № 5 (46). С. 98...105.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Ильяшук Ю.М. Влияние жесткости ограждающих конструкций на их звукоизоляцию // Сб.: Борьба с шумом и действие шума на организм. – Вып. 2. – Л.: ЛИОТ, 1958. С. 56...76.
10. Бобылев В.Н., Тишков В.А., Паузин С.А., Монич Д.В. Исследование резервов повышения зву-

коизоляции однослойных ограждений с ослабленным поперечным сечением // Приволжский научный журнал. – 2016, № 2(38). С.23...30.

11. Cremer L. Theorie der Schalldämmung, dünner Wände bei schrägem Einfall // Akustische Zeitschrift. – №7, 1942. P.81...104.

12. Патент на полезную модель RUS 107802 06. Звукоизолирующая вибродемпфированная слоистая панель с измененной изгибной жесткостью / Кочкин А.А., Шашкова Л.Э. – 12.2010.

13. Шашкова Л.Э., Кочкин А.А. Исследование влияния месторасположения и заполнения пропилов в вибродемпфированных элементах на их звукоизоляцию // Жилищное строительство. – 2015, № 7. С.58...59.

REFERENCES

1. Bobylev V.N., Tishkov V.A., Grebnev P.A., Monich D.V. Rezervy povysheniya zvukoizoljatsii peregorodok iz pazogrebnykh gipsovych plit // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. – 2015, № 4(36). С.41...45.

2. Antonov A.I., Ledenev V.I., Solomatin E.O., Shubin I.L. Raschet shuma pri proektirovanii zvukoizolirujushhih kozhuhov tehnologicheskogo oborudovaniya // Stroitel'nye materialy. – 2015, № 6. С. 39...41.

3. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Shubin I.L. Ocenka rasprostraneniya prjamoogo zvuka ot zvukoizolirujushhih ograzhdenij tehnologicheskogo oborudovaniya tekstil'noj i legkoj promyshlennosti // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, №4. С. 167...173.

4. Ovsjannikov S.N., Skripchenko D.S. Issledovanie zvukoizoljacionnykh svojstv materialov pri razlichnykh staticheskikh nagruzkah // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, №4. С.40...44.

5. Leljuga O.V., Ovsjannikov S.N. Issledovanie zvukoizolirujushhej sposobnosti oblegchennykh pere-

gorodok // Vestnik Tomskogo gos. arhitekt.-stroit. un-ta. – 2014, № 5 (46). С. 98...105.

6. Kochkin A.A., Shubin I.L., Shashkova L.Je., Kochkin N.A. Proektirovanie zvukoizoljatsii sloistykh jelementov konechnykh razmerov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 4. С.161...167.

7. Kochkin A.A., Shubin I.L., Kochkin N.A., Kirjatkova A.V. O regulirovanii zvukoizoljatsii sloistykh vibrodempfirivannykh jelementov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 4. С.181...187.

8. Kochkin A.A., Shubin I.L., Kochkin N.A. Raschet kolebatel'noj skorosti i izluchaemoj moshhnosti jelementov konechnykh razmerov v uslovijah razlichnykh rezonansov // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2016, № 7. С.15...19.

9. Il'jashuk Ju.M. Vlijanie zhestkosti ograzhdajushhih konstrukcij na ih zvukoizoljatsiju // Sb.: Bor'ba s shumom i dejstvie shuma na organizm. – Vyp. 2. – L.: LIOT, 1958. С. 56...76.

10. Bobylev V.N., Tishkov V.A., Puzin S.A., Monich D.V. Issledovanie rezervov povysheniya zvukoizoljatsii odnoslojnykh ograzhdenij s oslablennym poperechnym secheniem // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. – 2016, № 2(38). С.23...30.

11. Cremer L. Theorie der Schalldämmung, dünner Wände bei schrägem Einfall // Akustische Zeitschrift. – №7, 1942. P.81...104.

12. Патент на полезную модель RUS 107802 06. Звукоизолирующая вибродемпфированная слоистая панель с измененной изгибной жесткостью / Кочкин А.А., Шашкова Л.Э. – 12.2010.

13. Шашкова Л.Э., Кочкин А.А. Исследование влияния месторасположения и заполнения пропилов в вибродемпфированных элементах на их звукоизоляцию // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2015, № 7. С.58...59.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН. Поступила 05.04.17.