

УДК 699.844

*В.А. ГОРИН, В.В. КЛИМЕНКО, кандидаты техн. наук,
Кубанский государственный технологический университет (Краснодар)*

Снижение уровня ударного шума паркетными полами

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований изоляции ударного шума междуэтажными перекрытиями гражданских зданий с паркетными полами, уложенными на упругой подложке. Составлены приближенные формулы для определения критических и резонансных частот колебаний перекрытий. Определены частотные диапазоны роста и снижения уровня ударного шума этими перекрытиями.

Ключевые слова: изоляция ударного шума, паркетный пол, упругая подложка.

Создание необходимого акустического комфорта в помещениях гражданских зданий является одной из актуальной проблем, решению которой придается большое значение. К числу основных путей ее реализации относится повышение звукоизоляции ограждающих конструкций, в первую очередь междуэтажных перекрытий. Во многих случаях это наиболее рациональный, а иногда и единственный способ уменьшения шума, проникающего из смежных помещений.

Широкое распространение в строительной практике получили конструкции междуэтажных перекрытий с паркетными полами. Полы укладывают на клей или на упругой подложке по монолитной выравнивающей стяжке из цементно-песчаного раствора или по плитам перекрытия. В качестве несущих настилов в конструкциях перекрытий применяют сборные или монолитные плиты поверхностной плотностью 300–350 кг/м². Изоляция воздушного шума такими ограждающими конструкциями в основном обеспечивается поверхностной плотностью. Так, междуэтажное перекрытие с железобетонной несущей плитой сплошного сечения толщиной 0,14 м ($m=350$ кг/м²) обеспечивает нормативную изоляцию воздушного шума. Для достижения требуемого уровня ударного шума под перекрытием необходимо дополнительное устройство пола. Изоляция ударного шума междуэтажными перекрытиями с полами из древесных материалов, уложенных на клей по плите перекрытия, рассмотрена в работе [1]. Однако до сих пор остается малоизученным вопрос звукоизоляции междуэтажных перекрытий с паркетными полами, уложенными на упругой подложке по монолитной выравнивающей стяжке или по плитам перекрытия. Так, в СП 23-103-2003 метод расчета изоляции ударного шума междуэтажными перекрытиями не учитывает полы с поверхностной плотностью менее 30 кг/м², к которым относятся паркетные полы, и не учитывает их физико-механические характеристики – толщину, модуль упругости, коэффициент потерь, коэффициент Пуассона, цилиндрическую жесткость и т. п.

Практические методы расчета изоляции ударного шума междуэтажными перекрытиями, изложенные в специальной литературе, например в [2–5], не учитывают физико-механические свойства материалов элементов пола. Поэтому в процессе проектирования зданий нельзя с достаточной точностью прогнозировать звукоизоляцию междуэтажных перекрытий, а следовательно, и акустический режим в

зданиях. Необходима разработка методов оценки изоляции ударного шума междуэтажными перекрытиями, учитывающих физико-механические свойства материалов покрытия пола.

Задача определения величины дополнительной изоляции ударного шума сведена к нахождению колебательных скоростей однослойного перекрытия и несущей плиты перекрытия с полом из древесных материалов. Рассмотрено трехслойное междуэтажное перекрытие, состоящее из несущей железобетонной плиты и покрытия пола из древесных элементов (паркетные доски или паркетные щиты, массивная доска и т. п.), уложенных на упругой подложке.

В области низких частот $f \leq f_*^{(3)}$ модель представляла собой пакет двух упругих слоев толщины h_1 и h_2 с параметрами ρ_1, λ_1, μ_1 и ρ_2, λ_2, μ_2 , жестко сцепленных с плитой, имеющей толщину h , цилиндрическую жесткость D , плотность материала ρ и коэффициенты Ламе (λ, μ), $f_*^{(3)}$ – частота, ограничивающая область применения расчетной модели (индекс 1 относится к нижнему слою, индекс 2 – к верхнему).

Вертикальные перемещения точек плиты w и упругих слоев w_1 и w_2 определяются из решения системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} (\lambda_2 + 2\mu_2) \left(\frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_2}{\partial z^2} \right) = -\rho_2 \omega^2 w_2 \\ (\lambda_1 + 2\mu_1) \left(\frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_1}{\partial z^2} \right) = -\rho_1 \omega^2 w_1 \\ D \nabla^4 w - \rho h \omega^2 w = q_1 \end{cases} \quad (1)$$

со следующими граничными условиями:

$$\begin{aligned} \text{– при } z=0: & \begin{cases} w_1 = w \\ (\lambda_1 + 2\mu_1) \frac{\partial w_1}{\partial z} = -q_1 \end{cases} \\ \text{– при } z=-h_1: & \begin{cases} w_1 = w_2 \\ (\lambda_1 + 2\mu_1) \frac{\partial w_1}{\partial z} = (\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{\partial w_2}{\partial z} \end{cases} \\ \text{при } z=-(h_1 + h_2) = -H: & (\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{\partial w_2}{\partial z} = q_0 \end{aligned}$$

Снижение уровня ударного шума $\Delta L_{3,1}$ в области частот $f < f_*^{(3)}$, определенное методом интегральных преобразований, равно:

$$\Delta L_{3,1} = 101g \left[\left(1 - 4\pi^2 \frac{m_2}{k_1} f^2 \right)^2 \left(1 + \frac{m_1 + m_2}{m} \right)^{\frac{5}{4}} \right] \approx \approx 101g \left(1 + \frac{m_1 + m_2}{m} \right)^{\frac{5}{4}}. \quad (2)$$

В области средних и высоких частот $f > f_*^{(3)}$ модель представляла собой колебательную систему, состоящую из абсолютно твердого тела массы m_0 , контактирующего с пакетом трех жестко сцепленных между собой упругих слоев.

Вертикальные перемещения точек системы определялись путем совместного решения уравнения движения абсолютно твердого тела (молотков стандартной ударной машины):

$$-m_0 \omega^2 a_z = P_z + a_z Q_{3z}^{(1)} \quad (3)$$

и волновых уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 w_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_n}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_n}{\partial z^2} + k_n w_n = 0 \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + k w = 0 \end{cases} \quad (4)$$

с граничными условиями:

$$\begin{aligned} & \text{– при } z = h: (\lambda + 2\mu) \frac{\partial w(x, y, z)}{\partial z} = 0; \\ & \text{– при } z = 0: \begin{cases} w(x, y, z) = w_1(x, y, z) \\ (\lambda + 2\mu) \frac{\partial w(x, y, z)}{\partial z} = (\lambda_1 + 2\mu_1) \frac{\partial w_1(x, y, z)}{\partial z} \end{cases} \\ & \text{– при } z = -h_1: \begin{cases} w(x, y, z) = w_2(x, y, z) \\ (\lambda_1 + 2\mu_1) \frac{\partial w_1(x, y, z)}{\partial z} = (\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{\partial w_2(x, y, z)}{\partial z} \end{cases} \\ & \text{– при } z = -(h_1 + h_2): \begin{cases} w_2(x, y, z) = a_z(x, y) \in S_0 \\ (\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{\partial w_2(x, y, z)}{\partial z} = 0, (x, y) \notin S_0. \end{cases} \end{aligned}$$

Здесь $w_1(x, y, z)$, $w_2(x, y, z)$ – вертикальные перемещения точек двух верхних слоев; $w(x, y, z)$ – то же, нижнего слоя; P_z и Q_{3z} – вертикальные составляющие внешнего силового воздействия и динамической реакции упругой среды; $\sigma = \sqrt{\xi^2 - k^2}$; $\sigma_n = \sqrt{\xi_n^2 - k_n^2}$; $k^2 = \rho \omega^2 / (\lambda + 2\mu)$; $k_n^2 = \rho_n \omega^2 / (\lambda_n + 2\mu_n)$; S_0 – круговая радиуса r_0 – область контакта.

Перемещения в области контакта даются соотношением:

$$a_z = \frac{P_z}{\pi r_0^2 m \omega^2} \times \frac{k \Delta_{03}}{k_2 \Delta_{13}}. \quad (5)$$

Резонансные частоты для трехслойной среды определяются численно из уравнения $\Delta_{13} = 0$, а критические – из уравнения $\Delta_{03} = 0$:

$$\begin{aligned} \Delta_{03} &= \left[\frac{k_2}{k} \cos(kh) - (kh) \sin(kh) \right] \cos(k_1 h_1) - \\ & - \frac{k_1}{k} \cos(k_1 h_1) \sin(k_1 h_1) - \frac{k_2}{k_1} (kh) \sin(kh) \frac{\sin(k_1 h_1)}{(k_1 h_1)}; \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{13} &= \left[\frac{\sin(kh)}{(kh)} + \frac{m_2}{m} \cos(kh) \right] \cos(k_1 h_1) + \\ & + \frac{\sin(k_1 h_1)}{(k_1 h_1)} \left[\frac{m_1}{m} \cos(kh) - \frac{m_2 k}{m k_1} (kh) \sin(kh) \right]. \quad (7) \end{aligned}$$

Численные расчеты, проведенные для железобетонной плиты толщиной $h=0,14$ м и пола из сосны или дуба толщиной $h_2=0,03$ м и $h_2=0,015$ м, уложенного по слою прокладочного материала толщиной $h_1=0,01$ м из этафома или изолона, свидетельствуют, что первая критическая частота расположена левее нормируемого диапазона, а вторая – правее. В этом случае в отличие от двухслойных конструкций резонансные частоты попадают в нормируемый диапазон, а критические – выходят за его пределы.

С учетом этого, а также в результате линеаризации функций Δ_{03} и Δ_{13} снижение уровня ударного шума покрытием пола, уложенным на упругой подложке по несущей плите перекрытия, представимо в виде:

$$\begin{aligned} & \text{– в диапазоне частот } f_{3kp} < f < f_{3p}: \\ & \Delta L_{3,1} = 101g \left(1 + \frac{m_1 + m_2}{m} \right)^{\frac{5}{4}}; \quad (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– в диапазоне частот } f_{3p} < f < f_{03}: \\ & \Delta L_{3,2} = 601g \left(\frac{f}{f_{3p}} \right); \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{– в частотном диапазоне } f \geq f_{03}: \\ & \Delta L_{3,3} = 101g \left[\left(\frac{2}{\pi} \right)^4 \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \sqrt{\frac{k_2}{k}} \left(\frac{k}{k_1} \right)^2 \frac{m_2}{m_1 m} \frac{f_{3kp}}{f_{kp}} \right] + 201g \left(\frac{f}{f_{kp}} \right). \quad (10) \end{aligned}$$

Здесь $f_{3p} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k_1 \frac{m+m_2}{m \cdot m_2}}$ – резонансная частота трехслойного междуэтажного перекрытия;

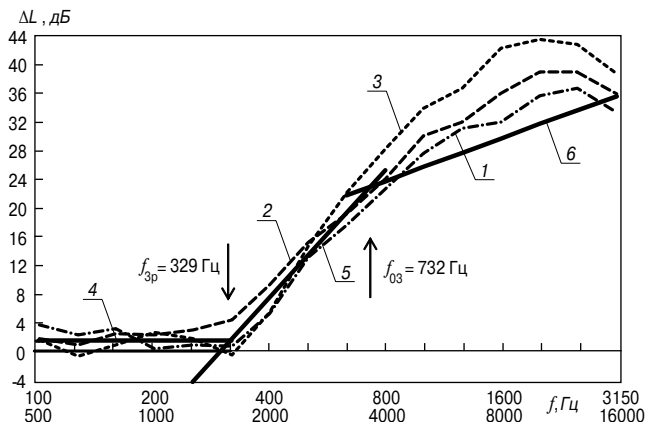
$f_{3kp} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1}{m}}$ – критическая частота этого перекрытия;

$f_{03} = \frac{2}{\pi} f_{3p} \left[\left(\frac{2}{\pi} \right)^2 \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \sqrt{\frac{k_2}{k}} \frac{k}{k_1} \frac{m_2}{m_1} \frac{f_{3kp}}{f_{kp}} \right]^{\frac{1}{4}}$ – граница области применимости приближенных формул.

Для подтверждения результатов теоретических исследований в малых реверберационных камерах акустической лаборатории Кубанского государственного технологического университета проведены измерения звукоизоляции на моделях междуэтажных перекрытий с покрытием пола из деревянных элементов. Масштаб моделирования 1:5. В качестве несущего настила использовалась сплошная железобетонная плита 28 мм (натурный размер 140 мм). Для покрытия пола применялись плиты из сосны толщиной 3 и 6 мм, моделирующие паркетные щиты или паркетные доски.

Частотные характеристики снижения приведенного уровня ударного шума полом на упругой подложке из этафома (ППЭ-Р), измеренные в малых реверберационных камерах (кривая 2) и вычисленные по приближенным формулам (8)–(10) (кривые 2–4), приведены на рисунке. Видно, что вычисленные частотные характеристики ΔL согласуются с измеренными частотными характеристиками.

Результаты расчетов, проведенных по формулам (8)–(10), свидетельствуют, что в диапазоне частот $f < f_{3p}$ (диапазон 1)



Снижение приведенного уровня ударного звука полом из сосновых щитов, уложенных на слой подложки по железобетонной плите перекрытия: 1, 2 – измеренные частотные характеристики для перекрытий с полом из сосновых щитов толщиной 3 мм (0,015 м), уложенных на слой этафома (ППЭ-Р) и изолона (ППЭ-Л) толщиной 2 мм (0,01 м); 3 – то же, с покрытием пола толщиной 6 мм, уложенного на слой изолона (ППЭ-Л) толщиной 2 мм (0,01 м); 4–6 – вычисленные по формулам (8)–(10) для перекрытия с полом из сосновых щитов толщиной 0,015 м, уложенных на слой этафома (ППЭ-Р) толщиной 0,01 м

дополнительная изоляция ударного шума незначительная. Ухудшение изоляции в окрестности резонансной частоты перечисленные расчетные формулы не учитывают.

В области частот $f_{3p} < f < f_{03}$ (диапазон 2) наблюдается рост дополнительной изоляции 18 дБ на октаву, а в области $f \geq f_{03}$ (диапазон 3) – 6 дБ на октаву. Увеличение толщины покрытия в два раза увеличивает дополнительную изоля-

цию на 9 дБ в области 2 и на 3 дБ – в области 3. Увеличение модуля Юнга и плотности материала покрытия приводит к уменьшению резонансной частоты и, как следствие, к увеличению дополнительной изоляции. К такому же эффекту приводит уменьшение модуля Юнга и плотности прокладочного материала.

Таким образом, полученные расчетные формулы снижения уровня ударного шума паркетными полами на упругих подложках позволяют с достаточной для практики точностью прогнозировать звукоизоляцию междуэтажных перекрытий, а следовательно, и акустический режим в гражданских зданиях.

Список литературы

1. Горин В.А., Клименко В.В. К оценке изоляции ударного шума междуэтажными перекрытиями с полами из деревянных материалов // Вестник МГСУ. № 3. Т. 1. 2011. С. 66–72.
2. Осипов Г.Л., Бобылев В.Н., Борисов Л.А., Шубин И.Л. и др. Звукоизоляция и звукопоглощение. М.: Астрель, 2004. 450 с.
3. Соловьев А.К. Физика среды. М.: Изд-во АСВ, 2008. 344 с.
4. Ретлинг Э.В. Звукоизоляция внутренних ограждающих конструкций зданий. Деп. в ВИНТИ. 1998. № 243. 334 с.
5. Крейтан В.Г. Защита от внутренних шумов в жилых домах. М.: Стройиздат, 1990. 260 с.



Винтовые анкера АТЛАНТ



(495) 226-18-37
(342) 219-61-56

info@anker-system.ru
www.anker-system.ru