

К вопросу применения акустических подвесных потолков с малой высотой крепления

А.И. Герасимов¹, И.П. Салтыков²

¹*Независимый исследователь*

²*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

Аннотация: Конструкции подвесных потолков в гражданских зданиях позволяют улучшить звукоизоляцию воздушного и ударного шума. Для минимального уменьшения объёма помещения, чаще всего используются два вида подвесных акустических потолков: с креплением конструктивной оболочки потолка «вплотную» к плите перекрытия и с незначительной высотой подвеса. Рассмотрено влияние поверхностной плотности плиты на поправку к звукоизоляции, создаваемой подвесным потолком, для первого и второго вида. Приводится методика расчёта поправки к звукоизоляции для двух рассматриваемых видов: для минимальной высоты подвеса через акустический коэффициент излучения гибкой оболочки потолка; для незначительной высоты подвеса - с учётом передачи колебаний плиты пола к оболочке через воздушный слой и через металлические крепления, являющиеся акустическими мостиками. Оценивается влияние перфорации в гипсокартонных подвесных потолках на звукоизоляцию всей конструкции перекрытия в целом.

Ключевые слова: подвесной потолок, изоляция ударного шума, изоляция воздушного шума, акустическая мощность излучения, граничная частота, акустический мостик, акустический импеданс, уровень колебательной скорости, пористо-волоконный материал, перфорированный гипсокартонный лист.

Введение

В настоящее время конструкции подвесных потолков активно используются в создании интерьерных решений гражданских и промышленных зданий. Они обладают простотой монтажа и технологичностью для придания помещениям требуемых эстетических качеств, позволяют скрыто прокладывать инженерные коммуникации, играют роль в создании благоприятного акустического режима [1, 2].

Согласно действующим нормативным документам, междуэтажное перекрытие должно обеспечивать требуемую звукоизоляцию от воздушного и ударного шума, для чего необходимо, в дополнение к плите перекрытия соответствующей толщины, проектировать составную структуру конструктивных слоёв пола [3, 4]. Как показывает практика реального

проектирования, требуемые индексы звукоизоляции ударного и воздушного шума, в первую очередь, эффективно обеспечиваются за счёт плавающего пола и существенной поверхностной плотности плиты перекрытия [5], тем не менее, использование звукоизоляционных материалов в подпотолочном пространстве также позволяет положительно повлиять на снижение негативного шумового воздействия из вышерасположенных помещений [6]. Представляется интересным рассмотреть: связь поверхностной плотности плиты перекрытия со звукоизоляцией, создаваемой подвесным потолком, методы расчёта звукоизоляции воздушного и ударного шума при применении подвесных потолков, а также оценить влияние перфорации поверхности подвесного потолка из гипсокартона на его звукоизоляционные характеристики.

1. Повышение изоляции ударного и воздушного шума междуэтажным перекрытием за счет устройства подвесного потолка

Во многих случаях, объемно-планировочные решения зданий из-за функциональных требований не позволяют существенно изменить их строительный объем.

В этом случае крепление подвесного потолка целесообразно осуществлять непосредственно к несущей конструкции без воздушного зазора, либо на расстоянии не более 200 мм от нее.

В практике строительства широкое применение нашли три основных варианта конструкций подвесных потолков [7, 8], рис. 1-3. Каждый из этих трёх вариантов может быть использован с различными креплениями к плите перекрытия для получения требуемой высоты подпотолочного пространства. В рамках данной статьи, эти варианты предполагают исполнение с минимальным уменьшением высоты помещения для получения дополнительной звукоизоляции. Первый вариант, рис. 1, представляет собой 2-х уровневую систему с деревянным каркасом с заполнением внутреннего

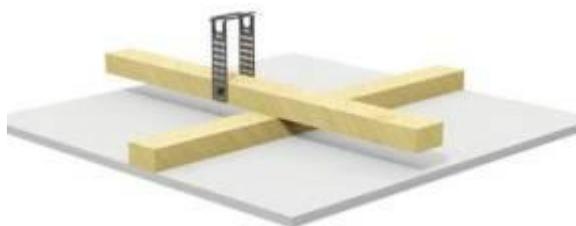


Рис. 1. Вариант 1. Двухуровневая система с деревянным или металлическим каркасом для крепления подвесного потолка вплотную к плите перекрытия. Рисунок взят с сайта: plan.one/app/products/d111de-unterdecke-holz-uk-gkbi-einlagig-d111-ud-002



Рис. 2. Вариант 2. Двухуровневая система с металлическим каркасом для крепления подвесного потолка на гибких стальных подвесах с расстоянием между подвесным потолком и плитой до 200 мм. Рисунок взят с сайта: utepliteli-77.ru/products/podves-priamoj-knauf-knauf

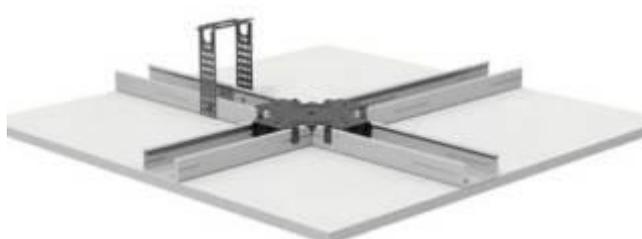


Рис. 3. Вариант 3. Одноуровневая система с металлическим каркасом для крепления подвесного потолка на гибких стальных подвесах с расстоянием между подвесным потолком и плитой до 200 мм. Рисунок взят с сайта: plan.one/app/products/d113de-unterdecke-metall-uk-niveaugleich-f90-vu-uvo-gkfi-2518-mm-zweilagig-d113-ud9-005?queryUuid=2403568596ea476597737dfd1156a5e7

пространства минераловатной плитой толщиной 40 мм. Данный вариант предполагает минимальную высоту подвешивания поверхностного слоя (оболочки) потолка. Второй и третий варианты, рис. 2 и 3, в рамках данной статьи, имеют одноуровневый или двухуровневый металлический каркас с высотой подвешивания оболочки не более 200 мм, с использованием крепёжных прямых и, реже, гибких стержневых подвесов. Подвесы, в свою очередь, могут выполняться с виброгасителями или без.

На основе анализа результатов экспериментальных измерений звукоизоляции ударного и воздушного шума данных вариантов подвесных потолков, получены графики зависимости индекса приведенного уровня ударного шума L_{wn} и индекса изоляции воздушного шума R_w от поверхностной плотности несущей части перекрытия, рис. 4 и 5. Как видно из графика на рис. 4 (кривая 2), эффективность конструкции подвесного потолка с позиции изоляции ударного шума существенно зависит от поверхностной плотности базовой части перекрытия.

Улучшение индекса изоляции ударного шума за счет подвесного потолка ΔL_w , дБ, (превышение кривой 1 над кривой 2) с увеличением поверхностной плотности несущей части перекрытия в диапазоне от $m=135$ кг/м² до $m=530$ кг/м² уменьшился с 11 до 2 дБ.

Анализ зависимости ΔL_w подвесного потолка в вариантах 2 и 3 от поверхностной плотности m несущей конструкции перекрытия (превышение кривой 1 над кривой 3) показал, что базовая часть не оказывает влияние на величину акустической эффективности подвесного потолка во всем диапазоне изменения m . Поправка ΔL_w , в соответствии с графиком, составляет 11 дБ.

Следует также отметить, что акустическая эффективность вариантов 1 - 3 подвесного потолка оказалась в среднем несущественной: поправка ΔL_w составила от 2 до 11 дБ.

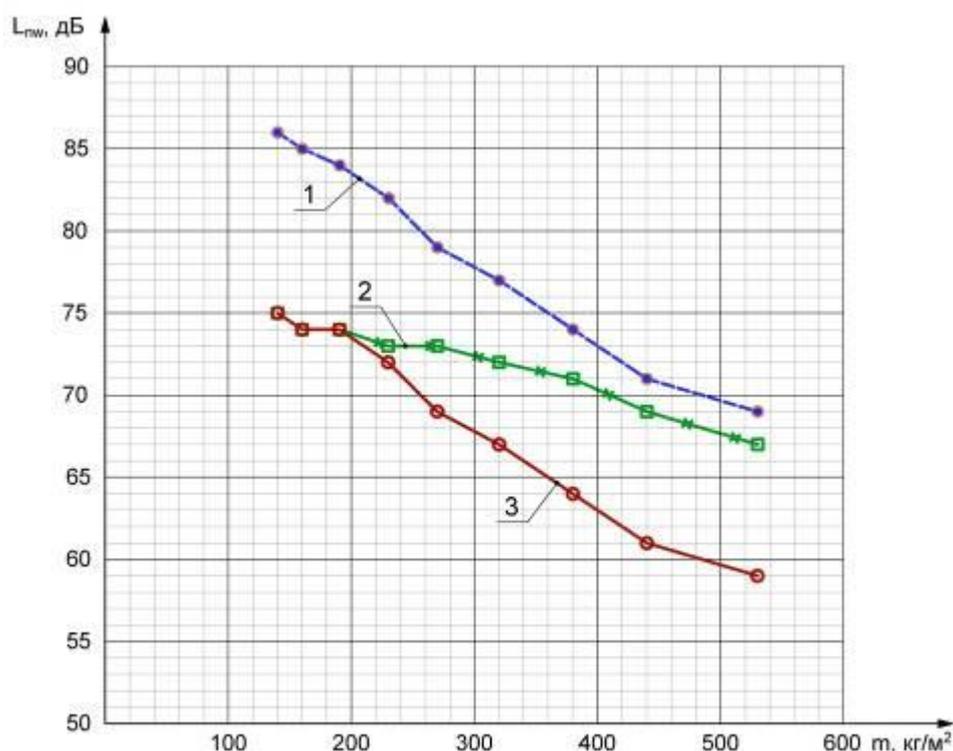


Рис. 4. – Влияние конструкции подвесного потолка на изоляцию ударного шума междуэтажным перекрытием при различной поверхностной плотности несущей плиты m , кг/м^2 : 1 - индекс приведённого уровень ударного шума под несущей конструкцией перекрытия при отсутствии подвесного потолка; 2 - то же, при устройстве подвесного потолка с минимальной подвесной высотой (вариант 1); 3 - то же, при устройстве подвесного потолка с высотой подвеса до 200 мм (варианты 2, 3).

Это объясняется тем, что потолки сравнительно легкие и расположены близко к несущей конструкции (высота подвеса для первого варианта, $h_1=0$, для второго и третьего - $h_2 \leq 200$ мм). Звукоизоляция из минеральной ваты образует тесную связь между каркасам подвесного потолка и перекрытием: подвесной потолок фактически следует за колебательным движением поверхности железобетонной плиты.

На рис. 5 представлены графики зависимости индекса изоляции воздушного шума междуэтажного перекрытия с подвесным потолком (варианты 1-3) от поверхностной плотности несущей плиты.

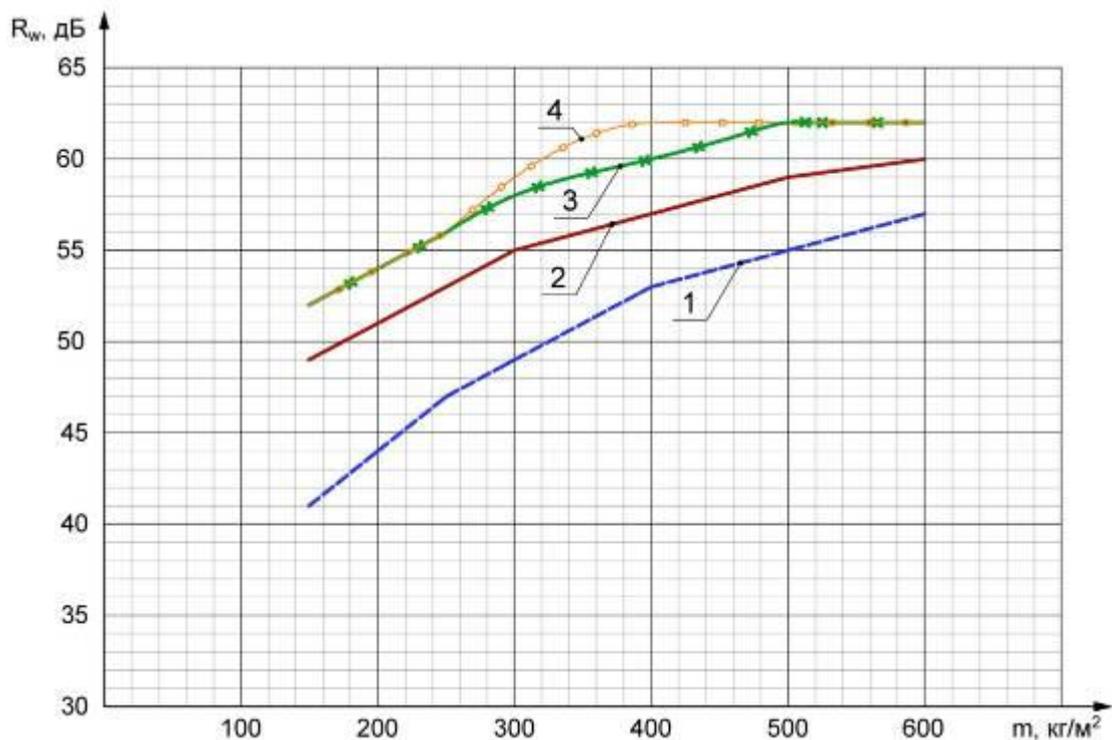


Рис. 5. – Кривые индекса изоляции воздушного шума междуэтажным перекрытием с подвесным потолком при различной поверхностной плотности несущей плиты: 1 - индекс изоляции воздушного шума несущей плиты; 2 - то же при устройстве подвесного потолка системы с минимальной высотой подвеса (вариант 1); 3 - то же при устройстве подвесного потолка по вариантам 2, 3 с высотой подвеса до 200 мм; 4 - то же для системы в варианте 3 при наличии гибких подвесов и виброгасителей.

Как показал анализ графиков, на эффективность конструкции подвесного потолка, как и в случае устройства гибкой плиты «на отnose» для улучшения звукоизоляции несущих конструкций стен, существенное влияние оказывает величина поверхностной плотности основной конструкции.

В случае использования конструкции варианта 1, с увеличением поверхностной плотности несущей части перекрытия со 150 кг/м^2 до 600 кг/м^2 , ΔR_w снижается с 8 до 3 дБ (превышение кривой 2 над кривой 1), а в случае вариантов 2, 3, при тех же условиях, с 11 до 5 дБ (превышение кривой 3 над кривой 1). Кривая 4 показывает, что виброгасители, дополнительно

применяемые в варианте 3, не оказывают существенного влияния на характер изменения изоляции.

2. Расчет изоляции ударного шума междуэтажным перекрытием с устройством подвесного потолка

Действие подвесного потолка состоит в том, что излучаемый перекрытием вниз ударный шум распространяется как воздушный шум, проходит через подвесной потолок, как через звукоизоляцию, и затем воспринимается в расположенном под ним помещении с уменьшенным уровнем.

Снижение уровня звукового давления в результате устройства подвесного потолка происходит благодаря потери звуковой энергии: в воздушном пространстве, в порах звукопоглощающего материала в составе конструкции потолка [9]; в элементах всей системы крепления.

При излучении перекрытием вниз акустических волн, в замкнутом пространстве потолка образуется звуковое поле, которое формируется в виде суперпозиции прямых и отраженных колебаний воздуха, то есть в виде так называемых «стоячих» волн.

Низшая частота, при которой наступает процесс формирования стоячих волн в замкнутом воздушном объеме:

$$f_{on} = \frac{c_0}{2h_0}, \text{Гц} \quad (1)$$

где c_0 – скорость звука в воздухе, м/с;

h_0 – толщина воздушного промежутка, м.

Пористо-волоконный материал из минеральной ваты или стекловолокна, помещенный в воздушное пространство подвесного потолка, снижает негативное влияние стоячих волн на звукоизоляцию конструкции междуэтажного перекрытия.

3. Расчет улучшения изоляции ударного шума междуэтажным перекрытием за счет устройства подвесного потолка вплотную к несущей плите

Представляется интересным произвести расчет улучшения изоляции ударного шума междуэтажным перекрытием за счет устройства подвесного потолка вплотную к несущей плите.

Изоляция ударного шума конструкцией перекрытия с подвесным потолком определяется по формуле:

$$L_n = L_n^\circ - \Delta L, \text{ дБ} \quad (2)$$

где L_n° – приведенный уровень ударного шума под плитой перекрытия, дБ;

ΔL – снижение уровня звукового давления за счет подвесного потолка, дБ.

Индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием равен:

$$L_{nw} = L_{nw}^\circ - \Delta L_w, \text{ дБ} \quad (3)$$

где L_{nw}° - индекс изоляции ударного шума несущей части перекрытия, дБ;

ΔL_w – индекс улучшения изоляции ударного шума за счет конструкции подвесного потолка, дБ.

В случае устройства подвесного потолка, уровень звукового давления под перекрытием, при воздействии ударного звука, будет косвенно характеризовать способность потолка изолировать воздушный шум. На рис. 6 показан график, характеризующий особенность физического процесса передачи ударного звука в конструкции перекрытия с подвесным потолком.

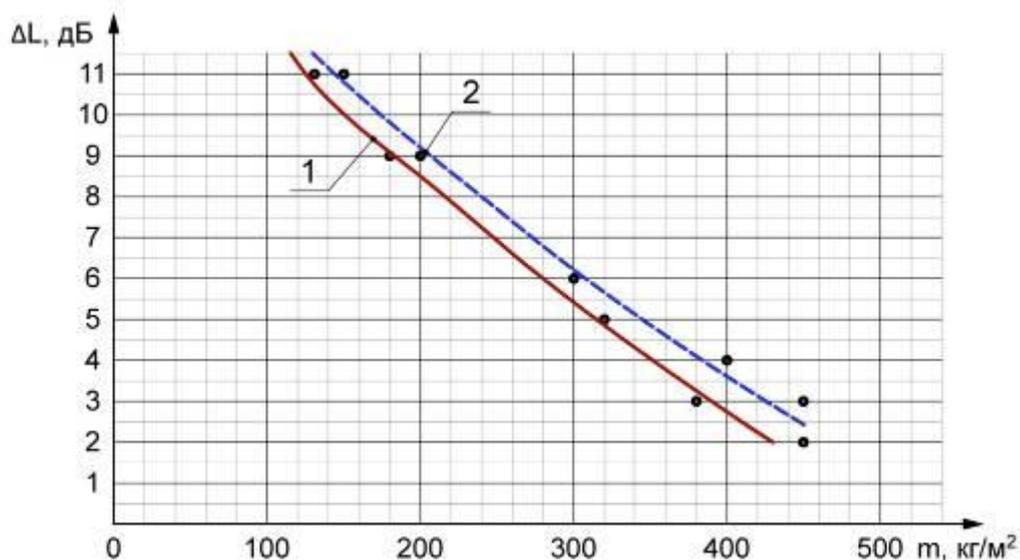


Рис. 6. – Кривые снижения уровня звукового давления под перекрытием с подвесным потолком (вариант 1) при различной поверхностной плотности несущей плиты: 1 - при воздействии ударного шума; 2 - при воздействии воздушного шума.

Как видно из графика, уровень снижения звукового давления за счет конструкции подвесного потолка при воздействии ударного звука на перекрытие, ΔL , (кривая 1), практически не отличается от уровня снижения звукового давления (кривая 2) при воздействии воздушного (ΔR). Разница составляет не более 2 дБ, поэтому далее по тексту в расчетах звукоизоляции междуэтажных перекрытий с подвесными потолками можно принять: $\Delta L = \Delta R$, а $\Delta L_w = \Delta R_w$.

Гибкая оболочка (плита потолка) совершает колебания при возбуждении ее силой. Эффективность гибкой оболочки зависит от излучаемой ею акустической мощности. Акустическая мощность характеризуется коэффициентом излучения гибкой оболочки [10]. Точечный коэффициент излучения (в случае точечного крепления направляющих подвесного потолка) определяется по формуле:

$$S_T = \frac{8}{\pi^3} \cdot \frac{c_0^2}{f_{cp}^2 F} \quad (4)$$

где $C_0 = 340 \text{ м/с}$ – скорость звука в воздухе;

f_{gp} – граничная частота гибкой оболочки, Гц;

F – площадь панели оболочки, м^2 .

Граничная частота гибкой оболочки определяется по формуле:

$$f_{gp} = \frac{C_0^2}{1,8 \cdot C_n \cdot h}, \text{ Гц} \quad (5)$$

где C_n – скорость продольной волны в материале гибкой оболочки, м/с;

h – толщина оболочки, м.

В случае линейного крепления направляющих подвесного потолка, коэффициент излучения определяется по формуле:

$$S_L = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{C_0}{f_{gp} \cdot l} \quad (6)$$

где l – длина оболочки, перпендикулярная линии акустического мостика, м.

Повышение изоляции ударного шума несущей плиты перекрытия за счет устройства подвесного потолка может определяться через поправку к звукоизоляции воздушного шума по формуле:

$$\Delta L \approx \Delta R = -10 \lg \left(\frac{f_1^4}{f^4} + n \cdot S_T \right) \text{ дБ}; \quad (7)$$

где f_1 – собственная частота колебаний системы, Гц;

f – текущая частота (100-3150 Гц);

n – количество креплений, шт.

Частота собственных колебаний панели подвесного потолка определяется по формуле:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E_B}{d \cdot m_1}}, \text{ Гц} \quad (8)$$

где модуль упругости воздуха $E_B = 14 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (Па);

d – расстояние от плиты перекрытия до панели подвесного потолка (толщина воздушного зазора), м;

m_1 – поверхностная плотность панели потолка, кг/м².

Частотная характеристика приведенного уровня ударного шума под несущей частью перекрытия вычисляется по формуле:

$$L_n^\circ = 5 \lg \left(\frac{f}{f_0} \right) - 35 \lg \left(\frac{h}{h_0} \right) + 100, \text{ дБ} \quad (9)$$

где f_0 – опорная частота, $f_0 = 1 \text{ Гц}$;

f – текущая частота, Гц;

\square – толщина конструкции, см;

h_0 – опорная величина, $h_0 = 1 \text{ см}$.

Тогда индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием, L_{nw} , может быть получен по построенному графику L_n , согласно методики СП.

4. Расчет улучшения изоляции ударного шума перекрытием за счет устройства подвесного потолка на расстоянии $h < 200 \text{ мм}$ от несущей конструкции.

Оболочка подвесного потолка крепится к несущей части перекрытия с помощью стоек подвесной системы. Между оболочкой и перекрытием находится слой воздуха. Звуковые колебания, созданные ударным воздействием, передаются от плиты пола к оболочке подвесного потолка двумя путями: через воздушный слой и через стойки (акустические мостики).

Введём следующие обозначения:

M – масса стойки (подвеса).

$D = E_{\text{п.}} \cdot S_{\text{м}} / h_{\text{п.}}$ – жёсткость мостика ($S_{\text{м}}$ – площадь поперечного сечения подвеса, $h_{\text{п.}}$ – высота (длина) подвеса, $E_{\text{п.}}$ – модуль упругости материала подвеса).

$Z_1 = 2,3 \cdot F_1^2 \cdot \sqrt{\rho_1 \cdot E_1}$ – импеданс панели оболочки (чаще всего, гипсокартонного листа (ГКЛ));

$Z_2 = 2,3 \cdot F_2^2 \cdot \sqrt{\rho_2 \cdot E_2}$ – импеданс плиты перекрытия;

F_1 и F_2 – соответственно площади потолка и перекрытия, $F_1 = F_2$ (м^2);
 ρ_1 и ρ_2 – плотности материалов оболочки потолка и плиты перекрытия,
 $\text{кг}/\text{м}^3$;

E_1 и E_2 – модули упругости материалов оболочки подвесного потолка и
плиты перекрытия $\text{Н}/\text{м}^2$ (Па).

Согласно теории акустических мостиков [11], при условии $M \cdot D \ll Z_1 \cdot Z_2$, что соответствует устройству стоек системы из податливых, упругих и легких материалов по сравнению с материалом оболочки и плиты перекрытия, звуковые мостики не снижают изоляцию ударного шума.

Снижение уровня колебательной скорости за счет устройства подвесного потолка может быть выражено:

$$\Delta L_v = 10 \lg \left| \frac{V_h}{V_1} \right|^2, \text{ дБ} \quad (10)$$

где V_h – колебательная скорость подвеса (звукового мостика) в месте контакта с плитой перекрытия;

V_1 – колебательная скорость панели оболочки подвесного потолка.

$$\left| \frac{V_h}{V_1} \right|^2 = \left[1 + \left(Z_2 \cdot \frac{\omega}{D} \right)^2 \right]^{-1} \quad (11)$$

где ω – круговая частота, $\omega = 2\pi f$.

Подставляя выражение (11) в формулу (10), получим частотную характеристику снижения уровня колебательной скорости (уровня звукового давления) за счет устройства конструкции подвесного потолка для оценки его звукоизоляционных качеств:

$$\Delta L = 10 \lg \left[1 + \left(Z_2 \cdot \frac{2\pi f}{D} \right)^2 \right]^{-1}, \text{ дБ} \quad (12)$$

5. Оценка влияния перфорации гипсокартонных листов подвесного потолка на звукоизоляцию перекрытия

Как известно, звукопоглощающие конструкции подвесных потолков используются для борьбы с шумом в помещении с источником.

Подвесные потолки в составе междуэтажного перекрытия обладают двумя акустическими свойствами: способностью поглощать и изолировать звук.

Как показывает практика, звукопоглощающие конструкции подвесных потолков и стен шумных помещений способны обеспечить снижение уровня звукового давления от 3 до 8 дБ. Это значение существенным образом зависит от акустических характеристик помещения и применяемых звукопоглощающих материалов, особенно от их коэффициента звукопоглощения, α . Поэтому большой практический интерес представляет способность перекрытия с подвесным потолком из гладких и с перфорацией листов гипсокартона (ГКЛ), со слоем пористо-волокнистого материала, изолировать воздушный звук.

Изоляция воздушного шума многослойным перекрытием для случая применения гладких ГКЛ и с перфорацией 15 % представлены на рис. 7.

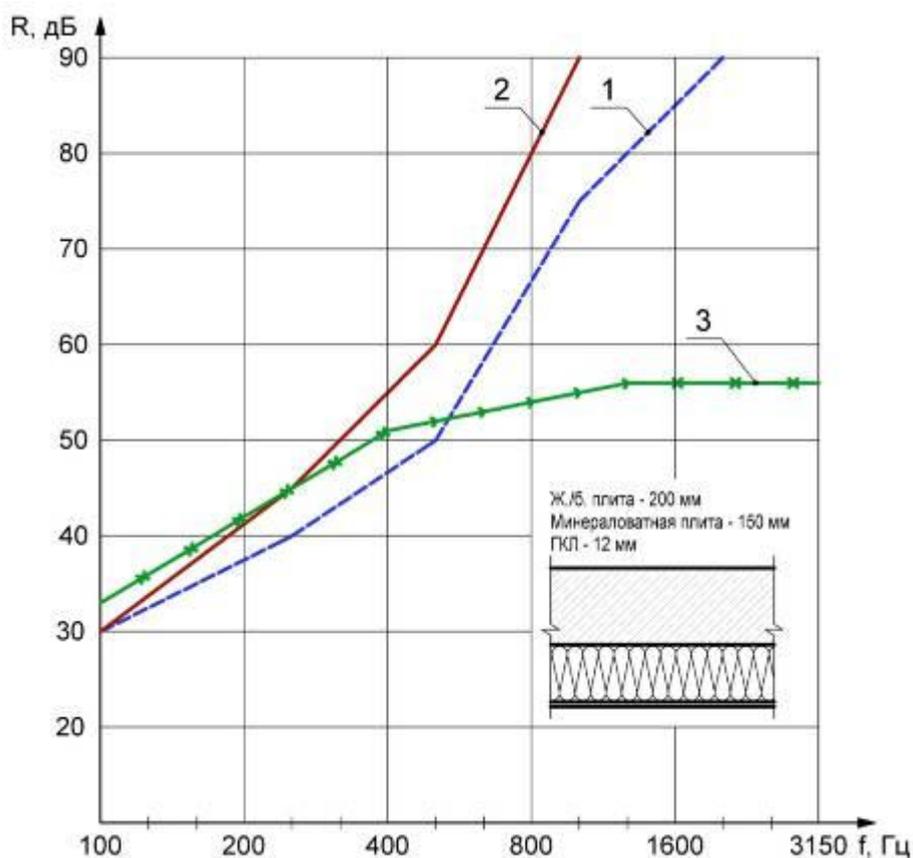


Рис. 7. – Частотная характеристика изоляции воздушного звука междуэтажным перекрытием: 1 - с гладким гипсокартонным листом; 2 - с перфорированным гипсокартонным листом (с коэффициентом перфорации $\chi = 0,15$, с $R_w = 56$ дБ); 3 - оценочная нормативная кривая согласно СП.

Как видно из графиков, наличие перфорации приводит к повышению изоляции: на низких частотах ($f < 320$ Гц) до 5 дБ и средних ($f < 800$ Гц) – до 14 дБ. Индекс изоляции воздушного шума перекрытия с подвесным потолком за счет перфорации ГКЛ оболочки увеличился всего на 3 дБ ($R_w = 53$ дБ – гладкая плита ГКЛ, $R_w = 56$ дБ – с перфорацией).

Выводы

Представленный выше материал позволяет сделать следующие выводы:

1. Анализ зависимости поправки к звукоизоляции воздушного и ударного шума подвесного потолка от поверхностной плотности плиты перекрытия показал следующее:

- поверхностная плотность плиты перекрытия оказывает существенное влияние на поправку к приведённому индексу ударного шума только при устройстве подвесного потолка вплотную к плите перекрытия;

- поверхностная плотность плиты перекрытия влияет на поправку к индексу воздушного шума для подвесных потолков как с креплением вплотную к плите перекрытия, так и с креплением на расстоянии до 200 мм.

2. Поправки к звукоизоляции воздушного и ударного шума за счёт применяемого подвесного потолка примерно равны, что упрощает их практическое вычисление.

3. Описана методика расчёта изоляции ударного шума междуэтажным перекрытием с устройством подвесного потолка вплотную к несущей плите и аналогичная методика для подвесного потолка с высотой подвеса до 200 мм.

4. Дана оценка влияния перфорации ГКЛ подвесного потолка на звукоизоляцию воздушного шума перекрытия. Перфорация приводит к увеличению звукоизоляции на низких частотах до 5, а на средних до 14 дБ, однако, индекс звукоизоляции воздушного шума меняется при этом очень незначительно.

Рассмотренные в статье принципы расчёта и оценки влияния конструкции подвесного потолка на индексы воздушного и приведённого уровня ударного шума нуждаются в дальнейшем уточнении и изучении из-за многообразия конструктивных решений и особенностей статической работы элементов каркаса современных подвесных потолков.

Литература

1. Цукерников И.Е., Шубин И.Л., Невенчанная Т.О. Измерение и оценка звукоизоляции строительных изделий. // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. №6 (1030). С. 19-21.
2. Пороженко М.А. Изоляция ударного шума ограждающими конструкциями здания // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. №6 (1006). С. 34-35.
3. Полевщиков А.С. Звукоизоляция междуэтажных перекрытий в жилых зданиях // Жилищное строительство. 2015. №7. С. 55-57.
4. Bouttout A. and Amara M. Sound Insulation between Buildings: The Impact Noise Transmission through Different Floor Configurations // International Journal of Architectural, Civil and Construction Sciences, 2016. Vol 10, No 1.
5. Gerasimov A.I. and Saltykov I.P. Semi-graphical method for plotting a frequency characteristic of impact noise level's reducing // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918 (2020) 012122 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/918/1/012122
6. Ozcelik Ozgur, Misir Ibrahim S. and Saridogan Serhan Performance evaluation of suspended ceiling systems using shake table test // Structural Engineering and Mechanics. 2016, 58. 121-142. DOI:10.12989/sem.2016.58.1.121.
7. Семенов К.О., Киянец А.В. Особенности работы каркасов подвесных потолков // «КНАУФ в мировом строительном комплексе. VIII Международная научно-практическая конференция «КНАУФ в мировом строительном комплексе». Челябинск, 03–04 декабря 2015 года. Сборник докладов. 2015. С. 95-99.
8. Никитин Е.В., Марченко А.Е., Погорелов С.Н. Звукопоглощающие панели КНАУФ // «Одиннадцатая международная научно-практическая конференция «КНАУФ в мировом строительном комплексе». Сборник

докладов. Посвящается 75 – летнему юбилею Южно-Уральского государственного университета и 25 – летию компании КНАУФ в России. Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет), г. Челябинск. 2018. С. 40-45.

9. Герасимов А.И., Светлорусова А.М. Изменение динамического модуля упругости звукоизоляционной прокладки из минераловатных материалов в конструкции плавающего пола во времени // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5780.

10. Заборов В.И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. Москва: Изд. лит. по строит., 1969. 186 с.

11. Боголепов И.И. Увеличение звукоизоляции двустенных конструкций за счёт применения звукоизолирующих мостиков // Инженерно-строительный журнал. 2009. №2. С. 46-53.

References

1. Zukernikov I.E., Shubin I.L. and Nevenchannaya T.O. BST: B'ulleten' stroitelnoy tekhniki. 2020. №6 (1030). pp. 19-21.

2. Porozhenko M.A. BST: B'ulleten' stroitelnoy tekhniki. 2018. №6 (1006). pp. 34-35.

3. Polevshchikov A.S. Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2015. №7. pp. 55-57.

4. Bouttout A. and Amara M. International Journal of Architectural, Civil and Construction Sciences, 2016. Vol 10, No 1.

5. Gerasimov A.I. and Saltykov I.P. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918. 2020. 012122 IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/918/1/012122

6. Ozcelik Ozgur, Misir Ibrahim S. and Saridogan Serhan J. Structural Engineering and Mechanics. 2016. 58. pp. 121-142. DOI:10.12989/sem.2016.58.1.121.



7. Semenov K.O., Kiyanets A.V. "KNAUF v mirovom stroitel'nom komplekse. VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "KNAUF v mirovom stroitel'nom komplekse. Chelyabinsk, 2015, pp. 95-99.

8. Nikitin E.V., Martchenko A.E., Pogorelov S.N. "Odinadtsataya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "KNAUF v mirovom stroitel'nom komplekse. Posvjashchayets'a 75-letnemu yubeleyu Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta i 25-letiyu kompanii KNAUF v Rossii". Chelyabinsk, 2018, pp. 40-45.

9. Gerasimov A.I., Svetlorusova A.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5780.

10. Zaborov V.I. Teoriya zvukoizol'atsyi ograzhdayushchikh konstruktsiy [The theory of sound insulation of enclosing structures]. Moskva: Construction Literature Publishing, 1969. 186 p.

11. Bogolepov I.I. Inzhenerno-stroitel'niy zhurnal. 2009. №2. pp. 46-53.