

5. Строительная акустика¹

5.1. Общие положения

Шум является фактором, который неблагоприятно влияет на человека, понижает его работоспособность и вредит здоровью. Поэтому одна из задач строительной акустики при проектировании зданий различного назначения – оградить людей от повседневных шумов в этих зданиях.

В развитых государствах Европы существуют национальные стандарты, нормы которых обеспечивают защиту людей от определенных шумов. И в Латвии создан такой строительный норматив [2]. В дальнейшей перспективе в Европейском союзе будут созданы более или менее единые стандарты по строительной акустике.

Шумы в зданиях можно разделить по способу их возникновения и распространения.

1. Если шум в здании создается в каком-то помещении и распространяется по воздуху через стены в соседние помещения, то изоляцию такого распространения звука описывают индексом воздушной изоляции звука R'_w , и его измеряют в децибелах (дБ). Это число, которым оценивают звукоизоляцию внутренних ограждающих конструкций здания, учитывая распространение звука и через ограждающую конструкцию, и через расположенные рядом конструкции – побочные пути. В лабораторных условиях, исключая побочные пути, звукоизоляцию внутренней ограждающей конструкции здания характеризует индекс изоляции звука в воздухе R_w (дБ).

2. Если шум образуется в результате удара при столкновении каких-либо тел с ограждающими конструкциями здания, его называют ударным шумом, и его изоляцию характеризуют приведенным индексом уровня ударного шума $L'_{n,w}$ (дБ). Эта величина характеризует изоляцию ударного шума в реальных условиях, учитывая распространение звука и по побочным путям. В лабораторных условиях, исключая побочные пути, получают приведенный индекс уровня ударного шума (ударного звука) $L_{n,w}$ (дБ).

3. Если шум в здание проникает извне через наружные ограждающие конструкции здания, то его характеризует индекс изоляции звука в воздухе $R'_{tr,s,w}$ (дБ), который оценивает звукоизоляцию между помещением и внешней средой.

Упомянутые характеристики ограждающих конструкций в большой степени зависят от частоты звуковых колебаний, и эту зависимость можно измерить экспериментально и в конкретном здании, и в лабораторных условиях (в 1 и 2 случае).

5.2. Измерение звука

Ухо молодого человека звук воспринимает в диапазоне частот 16-20 000 Гц (с возрастом это интервал сужается) и границы звукового давления от $2 \cdot 10^{-5}$ до 20 Па. Чувствительнее всего ухо человека к диапазону частот 1000-5000 Гц. Звук, частота которого менее 16 Гц, называют инфразвуком, а звук, частота которого более 20 000 Гц – ультразвуком. Наименьшую интенсивность или давление звука, которое человеческое ухо еще способно уловить, называют порогом слышимости, а максимальное – болевым порогом. Для описания такого диапазона давления или интенсивности звука целесообразно ввести внесистемную единицу измерения децибел (дБ) с формулой:

$$L = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} \quad (5.1)$$

где p – звуковое давление, Па;

p_0 – порог слышимости, $2 \cdot 10^{-5}$ Па, приблизительно при 1000 Гц;

¹ Требования и расчеты, аналогичные представленным в разделе, должны соответствовать нормативным документам конкретной страны.

I – интенсивность звука, Вт/м² ($I = \frac{P^2}{\rho v}$);

I_0 – интенсивность звука нулевого уровня, 10-12 Вт/м² ($I_0 = \frac{P_0^2}{\rho v}$);

ρ – плотность воздуха, приблизительно 1,2 кг/м³;

v – скорость распространения звука в воздухе, 343 м/с.

При определении величины L учитывается функция слышимости уха человека (зависимость слуха человека от частоты).

При попадании звуковых волн на ограждающие конструкции, звук частично отражается и частично поглощается.

Интенсивность поглощенного звука определяет коэффициент абсорбции поглощения звука α :

$$\alpha = \frac{I_{\text{abs}}}{I_{\text{krit}}} \quad (5.2)$$

где I_{abs} – интенсивность абсорбированного звука;

I_{krit} – интенсивность падающего на конструкцию звука.

Величина α может изменяться в пределах от 0 до 1 и в большой степени зависит от частоты звука. Умножая площади поверхности отдельных помещений помещения на коэффициенты звукопоглощения этих материалов, получается эквивалентная площадь абсорбции A помещения:

$$A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i \quad (5.3)$$

где S_i – площадь поверхности i -го элемента, м²;

Эквивалентная площадь абсорбции равна такой условной площади поверхности, которая поглощает звук полностью на 100%. Если в помещении создан звук, то при выключении источника звука он постепенно прекращается. Время, в течение которого уровень звука уменьшается на 60 дБ, называют временем реверберации (T). Между временем реверберации T , площадью абсорбции A (м²) и объемом помещения V (м³) существует зависимость Сабина:

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (5.4)$$

При распространении звука через ограждающую конструкцию из одного помещения в другое звукоизоляция характеризуется индексом звукоизоляции R_w или R_w' :

$$R_w = 10 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2} \quad (5.5a)$$

$$R'_w = 10 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2'} \quad (5.5b)$$

где I_1 – интенсивность падающего на ограждающую конструкцию звука;

I_2 – интенсивность проходящего через ограждающую конструкцию звука без побочных путей (в лабораторных условиях);

I_2' – с учетом побочных путей звука через другие конструкции.

Так как интенсивность звука измерить труднее, чем звуковое давление, для измерения индекса звукоизоляции используют измерения уровня звука L . В одном (первичном) помещении размещают источник звука, а во втором (вторичном) приемник. Измеряя время реверберации вторичного помещения по формуле Сабина можно определить эквивалентную площадь абсорбции (A_2) помещения, и тогда индексы звукоизоляции рассчитывают по формулам:

$$R'_{w} = L_1 - L_2' + 10 \cdot \lg \frac{S}{A_2} \quad (5.6a)$$

$$R_w = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{S}{A_2} \quad (5.6b)$$

где L_1, L_2 – средние уровни звука помещений (L_2' – с учетом побочных путей);

S – площадь ограждающей поверхности, m^2 .

Так как величины R'_{w} и R_w зависят от частоты, то в среднем для определения индекса используется стандартизированная частотная характеристика.

Индекс приведенного уровня ударного шума (звука удара) измеряют подобно индексу звукоизоляции. Разница в том, что звук удара создает специальный генератор ударного звука. В этом генераторе пять грузов (масса каждого – 500 г), которые один за другим падают с высоты 4 см на пол 10 раз в секунду, создавая в первичном помещении ударный звук.

Индекс $L'_{n,w}$ определяют по формуле:

$$L'_{n,w} = L_2 + 10 \cdot \lg \frac{A_2}{A_0} ; A_0 = 10 \text{ m}^2. \quad (5.7)$$

Аналогично для определения величин R'_{w} и R_w в среднем, а также для определения $L'_{n,w}$ используют стандартизированную частотную характеристику.

5.3. Звукопоглощение и звукоизоляция

Звукопоглощение различных материалов на практике используют для создания слоев звукоизоляции. В Латвийском строительном нормативе LBN 016-03 «Строительная акустика» [2] нормированными величинами звукоизоляции являются индекс звукоизоляции R'_{w} , приведенный индекс уровня ударного шума $L'_{n,w}$ и минимальный индекс звукоизоляции в воздухе $R'_{tr,s,w}$ в зависимости от уровня внешних шумов. Индекс звукоизоляции в воздухе должен быть не меньше величин, указанных в таблицах приложения 2 и 3 к LBN 016-03, а приведенные индексы уровня ударного шума не должны превышать величины, упомянутые в таблицах. Приведенные в таблицах приложения значения индекса R'_{w} нормируют требуемую звукоизоляцию между помещениями в вертикальном и горизонтальном направлении. Индекс $L'_{n,w}$ обозначает необходимую изоляцию ударного шума во всех направлениях (по вертикали, горизонтали, диагонали). Соответствие требованиям изоляции ударного шума определяют для помещений с площадью поверхности пола по крайней мере $2,5 \text{ m}^2$. Например, в строительном нормативе LBN 016-03 [2] выдвинуто требование, что между жилыми помещениями квартир индекс изоляции звука в воздухе R'_{w} не должен быть меньше 54 дБ.

В литературе [1] описаны четыре типа ограждающих конструкций, с помощью которых можно достичь необходимой звукоизоляции. В трех из этих типов в качестве уменьшающего звук элемента фигурирует толстая и массивная стена. Звукопроницаемость массивной стены определяет так называемый закон массы, в соответствии с которым в определенном частотном диапазоне индекс звукоизоляции увеличивается при увеличении частоты звуковых колебаний и нормированной к площади массы стены m' ($\text{кг}/\text{м}^2$):

$$R = 20 \cdot \lg(f \cdot m') - 47; \quad (\text{дБ}) \quad 5.8$$

где f – частота звука, Гц.

Например, как показано в литературе [1], при частоте 244 Гц и $m'=410 \text{ кг/м}^2$ индекс звукоизоляции R, рассчитанный по формуле (5.8), дает 53 дБ. Для конструкции стены системы «Dobeles panelis», в которой учтена только звукоизоляция железобетонного слоя (толщина железобетонного слоя 0,15 м; плотность 2400 кг/м^3 [3]; $m'=360 \text{ кг/м}^2$), применяя формулу (5.8), получаем 52 дБ. Звукоизоляцию еще дополнительно повышают и слои теплоизоляции из легкого материала (пенополистирола), которые в конструкциях стен системы «Dobeles panelis» находятся по обеим сторонам массивной железобетонной конструкции. Таким образом, можно ожидать, что конструкции стен системы «Dobeles panelis» будут обладать хорошим индексом звукоизоляции. С системами, которые аналогичны системе «Dobeles panelis» и их техническими данными (в том числе и со звукоизоляцией) читатель дополнительно может ознакомиться и в Интернете [4, 5, 6]. Эту теорию для системы «Dobeles panelis» подтверждают акустические проверки аналогичной конструкции PLASTBAU-3, проведенные в Италии в соответствии с 1 частью стандарта UNI EN ISO 717 1997 года (протокол № 141742). Проверенная строительная конструкция с площадью $11,8 \text{ м}^2$ состоит из железобетонного стенового элемента толщиной 150 мм, с обеих сторон которого расположены слои EPS 200 толщиной 50 мм и плотностью 30 кг/м^3 . С учетом наружных отделочных слоев общая толщина конструкции составляет 320 мм. После выполнения акустических проверок установлено, что индекс изоляции звука в воздухе этой строительной конструкции $R'_w = 60 \text{ дБ}$.

Литература

1. I. Veits. Aizsardzība pret skaņu pārnēsi ēkās un attiecīgie starptautiskie standarti.– Zinātniski praktiskais seminārs: «Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika». – Rīga, 16.–17.03.2000. 18-1 līdz 18-13 lpp.
2. Латвийский строительный норматив LBN 016-03 «Būvakustika».
3. 3. Латвийский строительный норматив LBN 002-01 «Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika». Утвержден Кабинетом министров правилами № 495 от 27 ноября 2001 г.4. <http://www.sstburo.ru>
4. <http://www.sstburo.ru>
5. http://www.sukiennik.pl/html_rus/stropy_styropianowe_rus.html
6. <http://www.plastbau-m.ru/topics.php?topicID=25>