

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОСТЕКЛЕНИЯ И АКУСТИЧЕСКИЙ КОМФОРТ В ПОМЕЩЕНИИ

Данная статья предназначена, в основном, для потребителей, заказчиков строительных объектов и проектировщиков, которым важно без излишних сложностей и углубления в теоретические основы строительной акустики правильно выбрать конструкцию остекления и произвести оценку акустического комфорта в помещениях.

Акустический комфорт является важной составляющей качества жизни. В больших городах приходится прилагать немалые усилия для обеспечения в рабочих и жилых помещениях. В строительной акустике различают два вида шумов в зависимости от пути их распространения:

- воздушный — звуковые колебания, распространяющиеся в воздухе;
- структурный — звуковые колебания, распространяющиеся по материалу строительных конструкций.

Частным случаем *структурного шума* является *ударный шум* — звуковые колебания, возникающие при непосредственном механическом воздействии на строительные конструкции. Основным источником акустического дискомфорта в городах является *воздушный шум*. Источники воздушного шума чрезвычайно разнообразны, но основной из них в городе — транспорт, на долю которого приходится 60–80% всего шума.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ШУМА

Шумом принято называть любой нежелательный для человека звук — механические колебания в диапазоне слышимости человека, распространяющиеся в среде в виде волн.

Звуковые волны, распространяясь в пространстве, образуют звуковое поле, то есть сгущения и разрежения, которые создают добавочные изменения давления по отношению к среднему значению давления в среде. *Мгновенное звуковое давление* представляет собой разность полного давления в некоторой точке среды в определенный момент времени и *статического давления* в этой же точке. В расчетах и измерениях в основном используется *эффективное звуковое давление*, представляющее собой *среднеквадратичное значение мгновенного звукового давления*.

Интенсивностью или *силой звука* (I) называется количество энергии, переносимой звуковой волной за единицу времени через единицу площади поверхности, нормальной к направлению распространения звуковой волны. Сила звука (Вт/кв. м) пропорциональна квадрату эффективного звукового давления:

$$I = \frac{P_{эф}^2}{\rho \cdot C}, \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

где: $P_{эф}$ — эффективное звуковое давление, Па; ρ — плотность воздуха, кг/куб. м; C — скорость звука, м/с.

Человек слышит звуки в диапазоне частот 20–20 000 Гц. Наибольшее, воспринимаемое человеком безболезненно, звуковое давление — 1×10^{-2} Па; наименьшее, воспринимаемое звуковое давление (*порог слышимости*) — 2×10^{-5} Па. Сила звука, соответствующая порогу слышимости: $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м².

Экспериментально установлено, что увеличение силы звука в геометрической прогрессии воспринимается слухом человека в арифметической прогрессии (закон Вебера-Фехнера), поэтому для оценки воздействия звука используется логарифмическая

шкала [1]. В логарифмической шкале измеряемая величина соотносится с выбранным базовым значением. Для количественной оценки силы звука используется величина *уровня звука* или *уровня звукового давления* (L):

$$L = k \lg \frac{I}{I_0} = \lg \frac{P_{эф}^2}{P_0^2} \quad (2)$$

где: k — коэффициент пропорциональности, значение которого зависит от выбранной единицы измерения; I и $P_{эф}$ — соответственно, сила и эффективное звуковое давление измеряемого звука; I_0 и P_0 — сила звука и эффективное звуковое давление, соответствующие базовому значению, в качестве которого выбран порог слышимости.

Если выбран $k = 1$, уровень звука измеряется в белах (единица измерения, названная в честь Александра Грэхема Белла, изобретателя телефона). На практике, в основном, в качестве единицы измерения логарифмических величин используется одна десятая бела — *децибел (дБ)*, поскольку минимальный прирост громкости, воспринимаемый человеческим слухом, примерно равен 1 дБ [1]. В этом случае $k = 10$ и формула (2) приобретает вид:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ или } L = 10 \lg \frac{P_{эф}^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P_{эф}}{P_0}$$

Из формулы (2) видно, что увеличение силы звука в **10 раз** соответствует увеличению уровня звука на **10 дБ**.

Звуковые волны от разных источников складываются. При этом суммарная сила звука равна сумме сил звука от всех источников: $I_2 = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$

Общий уровень звука при увеличении числа равногромких источников возрастает незначительно. Возьмем источник, сила звука которого в данной точке равна 10^{-6} Вт/м².

При этом уровень звука будет равен:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ дБ}$$

Добавим второй такой же источник. Суммарная сила звука $I_2 = I_1 + I_2$ будет равна: $1 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-6} = 2 \times 10^{-6}$ Вт/кв. м. Суммарный уровень звука составит:

$$L = 10 \lg \frac{I_2}{I_0} = 10 \lg \frac{2 \times 10^{-6}}{10^{-12}} = 63 \text{ дБ}$$

Таким образом, прирост уровня звука составит всего 3 дБ. Добавление третьего источника такой же силы звука даст еще меньший прирост — на 1,8 дБ и так далее.

Если имеются источники различной силы звука, то более слабый источник вносит совсем незначительный вклад в общий уровень звука. Включенному пылесосу соответствует уровень звука 70 дБ (сила звука равна 1×10^{-5} Вт/кв. м), а уровень звука громкого разговора равен 60 дБ (сила звука — 1×10^{-6} Вт/кв. м). Суммарный уровень звука составит:

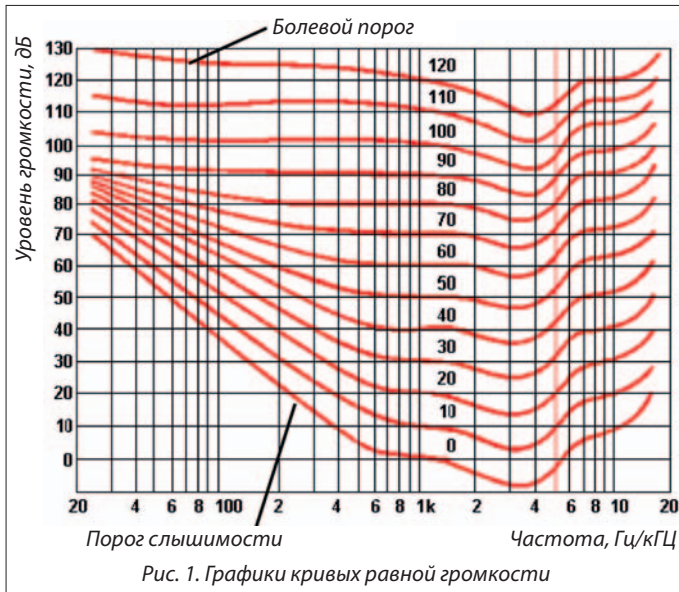
$$L = 10 \lg \frac{1 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-6}}{10^{-12}} = 10 \lg \frac{1,1 \times 10^{-5}}{10^{-12}} = 70,4 \text{ дБ}$$

Таким образом, более слабый источник добавил всего 0,4 дБ в суммарный уровень звука. При наличии нескольких источников, излучающих звук с различной интенсивностью, более слабый звук «поглощается» более мощным.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СУБЪЕКТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ ШУМА (ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ЗВУКОВ)

Акустические вибрации воздуха преобразуются слуховым органом человека в субъективные звуковые ощущения. Существует связь между субъективными характеристиками (восприятием) звука и соответствующими им физическими параметрами.

Громкость звука — это субъективное слуховое ощущение, которое позволяет определить для звука место на шкале от «тихих» до «громких». Человеку кажется громче звук с бо́льшим звуковым давлением. Кроме того, человеческий слух имеет различную чувствительность к звуку различных частот. Зависимость субъективно воспринимаемой громкости звука от его частоты (впервые исследованная Флетчером и Мансоном) представлена на рисунке 1 в виде графика *кривых равной громкости*.



Громкость звука оценивают, сравнивая ее на слух с громкостью эталонного звука (чистого тона частотой 1 000 Гц). Уровень эталонного звука (дБ), столь же громкого на слух, как и измеряемый звук, называется *уровнем громкости* измеряемого звука.

Единица измерения уровня громкости называется *фоном*. Один фон — это уровень громкости звука, для которого уровень равногромкого с ним эталонного звука равен 1 дБ. Таким образом, для чистого тона частотой 1 000 Гц шкала *уровня громкости* в фонах совпадает со шкалой *уровня звука* в дБ. На практике уровень громкости звуков измеряют шумомерами для всех полос частот, входящих в диапазон слышимости, и вычисляют средневзвешенный уровень громкости с учетом поправочных коэффициентов чувствитель-

Табл. 1. Уровни громкости для различных шумов

Пример шума	Уровень громкости, фон
Болевой порог	140
Двигатель самолета	130
Клаксон	120
Газонокосилка	110
Поезд метро	100
Большой оркестр	90
Загруженное скоростное шоссе	80
Оживленная улица	70
Громкий разговор	60
Спокойный пригород (в дневное время), разговор в жилой комнате	50
Нормальный разговор, тихий музыкальный фон	40
Тишина в горах, спокойная сельская местность в ночное время	30
Шепот, шелест листьев	20
Безмолвие в пустыне, дыхание	10
Порог слышимости (абсолютная тишина)	0

ности слуха для каждой частотной полосы. Полученное значение уровня громкости выражается в единицах, получивших название дБА, поскольку таблица поправочных коэффициентов для разных частотных полос носит название шкалы «А». Это значение численно совпадает со значением, выраженным в фонах.

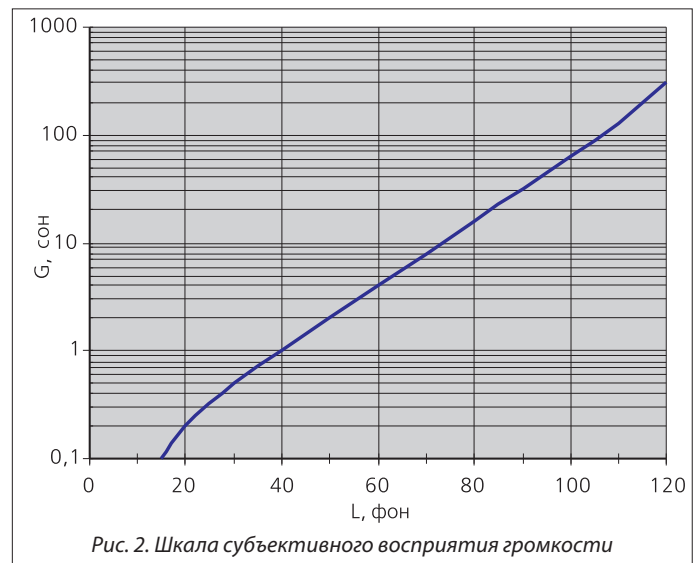
Различные примеры шумов и соответствующие им *уровни громкости* приведены в таблице 1.

Экспериментально установлено, что увеличение уровня громкости звука на 10 фон (что соответствует увеличению уровня звука на 10 дБ) субъективно воспринимается как увеличение громкости примерно в два раза. Для измерения уровня субъективно воспринимаемой громкости была разработана специальная условная линейная шкала. В этой шкале единицей измерения служит *сон*. 1 сон соответствует уровню громкости 40 фон. При увеличении уровня громкости на 10 фон число *сон* удваивается [2]. Звук громкостью в 2 *сона* субъективно воспринимается вдвое громче звука в 1 сон, звук в 3 *сона* — в полтора раза громче звука в 2 *сона*, звук в 6 *сон* — вдвое громче звука в 3 *сона* и т. д.

Графически зависимость субъективной громкости (в *сонах*) от уровня громкости (в фонах) представлена на рисунке 2.

В интервале $40 < L \text{ (фон)} < 120$ значение уровня громкости в фонах связано с величиной субъективной громкости в *сонах* соотношением:

$$G(\text{сон}) = 2^{\left(\frac{L(\text{фон}) - 40}{10}\right)} \quad (3)$$



Продолжение в следующем номере.

М. И. СМИРНОВ, к. х. н., ООО «Эй Джи Си Флэт Гласс Восток»,
Д. А. МИНАЕВ, ООО «ВНИИГАЗ»

Литература

1. Радзишевский А. Ю. «Основы аналогового и цифрового звука». — М.: Издательский дом «Вильямс», 2006 г.
2. Иофе В. К., Янпольский А. А. «Расчетные графики и таблицы по электроакустике». — Л., 1954 г.
3. Осипов Л. Г., Бобылев В. Н., Борисов Л. А. и др. «Звукоизоляция и звукопоглощение». — М.: «Издательство АСТ», «Издательство Астрель», 2004 г.
4. СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».
5. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».
6. ISO 717-1 «Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation».
7. ISO 140 Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements.
8. EN 12354-3:2000 Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound.