

Акустический расчет по защите от шума

1. Методические указания

Шумом называется бессистемное сочетание звуков различной интенсивности и частоты, оказывающих вредное воздействие на организм человека. Наиболее распространенными источниками шума являются: промышленное оборудование, транспортные средства, санитарно-техническое оборудование и устройства. Возникновение шума вызвано упругими колебаниями, возникающими по причине: механических, аэродинамических, гидродинамических и электрических явлений определяемых конструкцией и характером работы машины, неточностями, допущенными при её изготовлении, а также условиями эксплуатации. В связи с этим различают шумы механического, аэродинамического, гидродинамического и электромагнитного происхождения.

По физической природе шумом является всякий нежелательный для человека звук. В качестве звука мы воспринимаем упругие колебания (звуковые волны), распространяющиеся волнообразно в твёрдой, жидкой или газообразной среде. При распространении волны частицы среды не движутся вместе с волной, а колеблются около своих положений равновесия. Вместе с волной от частицы к частице среды передаются лишь состояния колебательного движения и его энергия. Поэтому основными свойствам волн являются перенос энергии без переноса вещества. Звуковые волны возникают при нарушении стационарного состояния среды, вследствие воздействия на неё какой либо возмущающей силы.

В диапазоне частот 16...20000 Гц волны, воспринимаются органом слуха человека как звук, называются звуковыми.

Шум определяется как совокупность звуков и характеризуется частотой f , интенсивностью I и звуковым давлением p .

Во время распространения звуковых колебаний в воздухе появляются области разрежения и области повышенного давления, которые и определяют величину звукового давления p .

Звуковым давлением называется разность между мгновенным значением давления при распространении звуковой волны и средним значением давления в невозмущенной среде.

На слух человека действует среднеквадратичное значение звукового давления. Осреднение во времени происходит в органе слуха человека за время 30...100 мс.

Единица измерения звукового давления – Па ($\text{Н}/\text{м}^2$). При распространении звуковой волны происходит перенос кинетической энергии, величина которой определяется интенсивностью звука. Интенсивность звука определяется средней по времени энергией, переносимой звуковой волной в единицу времени сквозь единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны:

$$I = W / S \cdot T,$$

где W – звуковая мощность источника шума, Вт;

S – площадь, сквозь которую распространяется звуковая волна, м^2 ;

T – время, с.

Единица измерения интенсивности звука – $\text{Вт}/\text{м}^2$. Интенсивность звука I и звуковое давление p связаны соотношением:

$$I = p^2 / \rho \cdot c,$$

где c – скорость распространения звука в данной среде, м/с;

ρ – плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρc – удельное акустическое сопротивление среды $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$. Для воздуха ρc – 410 $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$, для воды – $1,5 \cdot 10^6$ $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$, для стали – $4,8 \cdot 10^7$ $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$.

Величины звукового давления и интенсивности изменяются в очень широких пределах: по давлению до 10^8 раз, по интенсивности – до 10^{16} раз.

Согласно закона Вебера-Фехнера органы слуха воспринимают не абсолютное значения звукового давления, а его относительное изменение.

Поэтому для оценки шума используются логарифмические величины – уровни звукового давления и интенсивности звука. Уровень звукового давления и интенсивности звука определяется как

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

$$L_I = 10 \lg I/I_0,$$

где $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – пороговое звуковое давление на частоте 1000 Гц;

I_0 – интенсивность звука на пороге слышимости, принимаемая для всех звуков равной 10^{-12} Вт/м².

При нормальных атмосферных условиях, когда акустическое сопротивление среды постоянно, $L_I = L_p$.

Снижение шума ΔL определяется разностью начального и конечного уровней в дБ.

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 20 \lg \frac{p_1}{p_2}.$$

Суммарный уровень шума от нескольких источников находится сложением их интенсивностей звука

$$I_\Sigma = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N$$

и определяется выражением

$$L_\Sigma = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}$$

где L_i - уровень звукового давления, создаваемый i -м источником, n – количество источников шума

При разработке проектной документации объектов капитального строительства и реконструкции зданий вопросы защиты от шума должны быть рассмотрены и документально зафиксированы в следующих разделах:

– в разделе "Технологические решения" (для производственных предприятий) при выборе технологического оборудования и схем его размещения в производственных цехах и на территории промышленного предприятия, обеспечивающих максимально возможное снижение шума на рабочих местах. При этом следует отдавать предпочтение при прочих равных условиях малозумному оборудованию, шумовые характеристики которого сертифицированы и заявлены в соответствии с ГОСТ 12.1.023-80 «ССБТ. Шум. Методы установления значений шумовых характеристик стационарных машин» и ГОСТ 30691-2001 «Шум машин. Заявление и контроль значений шумовых характеристик»;

– в разделе "Строительные решения" (для производственных предприятий) на основе акустического расчета ожидаемых уровней шума на рабочих местах должна быть дана оценка соответствия расчетных уровней шума допустимым уровням шума и в случае превышения последних должны быть выбраны и запроектированы строительно-акустические мероприятия по защите от шума;

– в разделе "Архитектурно-строительные решения" (для объектов жилищно-гражданского строительства) должны быть выполнены расчеты ожидаемых уровней шума в помещениях с нормируемыми уровнями шума, определена требуемая звукоизоляция воздушного и ударного шума ограждающими конструкциями здания и разработаны их технические решения;

– в разделе "Инженерное оборудование" на основе расчета ожидаемых уровней шума, создаваемого инженерным оборудованием здания, должны быть намечены и обоснованы соответствующими расчетами проектные решения по звуко- и виброизоляции инженерного оборудования.

В общем случае мероприятия по защите от шума должны предусматривать:

а) на рабочих местах промышленных предприятий:

рациональное с акустической точки зрения решение генерального плана промышленного объекта и рациональное объемно-планировочное решение производственных зданий;

применение при строительстве и реконструкции производственных зданий:

ограждающих конструкций зданий с требуемой звукоизоляцией;

звукопоглощающих конструкций (звукопоглощающих облицовок, кулис, штучных поглотителей);

звукоизолирующих кабин наблюдения и дистанционного управления;

звукоизолирующих кожухов на шумных агрегатах;

акустических экранов (выгородок);

глушителей шума в системах вентиляции, кондиционирования воздуха и в аэрогазодинамических установках;

виброизоляции технологического оборудования;

б) в помещениях жилых и общественных зданий:

рациональное объемно-планировочное решение жилого или общественного здания;

применение при строительстве и реконструкции зданий:

ограждающих конструкций, обеспечивающих нормативную звукоизоляцию;

звукопоглощающих облицовок (в помещениях общественных зданий);

глушителей шума в системах принудительной вентиляции и кондиционирования воздуха;

виброизоляции инженерного и санитарно-технического оборудования зданий;

в) на территории жилой застройки:

применение рациональных приемов планировки и застройки городских и сельских поселений, городских округов, жилых районов, микрорайонов и кварталов;

соблюдение санитарно-защитных зон (по фактору шума) промышленных и энергетических предприятий, автомобильных и железных дорог, аэропортов, предприятий транспорта (железнодорожных сортировочных станций, депо, автобусных и троллейбусных парков и т.п.);

строительство шумозащитных зданий;

сооружение придорожных шумозащитных экранов и устройство шумозащитных полос зеленых насаждений;

г) в помещениях, требующих специального акустического благоустройства и создания оптимальных условий для восприятия аудиоинформации (аудитории, зрительные залы театров, кинотеатров, дворцов культуры, спортивные залы, залы ожидания и операционные залы железнодорожных, автомобильных и аэровокзалов):

рациональное объемно-планировочное решение зала (аудитории);

применение:

ограждающих конструкций, обеспечивающих требуемую звукоизоляцию от внутренних и внешних источников шума;

звукопоглощающих материалов и конструкций;

звукоотражающих и звукорассеивающих конструкций;

глушителей шума в системах принудительной вентиляции и кондиционирования воздуха.

Уровень шума на рабочих местах и в производственных помещениях, возникающих от различных источников, обычно значительно превышает допустимые значения. Поэтому при проектировании производственных процессов необходимым условием является определение ожидаемых уровней шума на рабочих местах с помощью акустического расчёта и разработки на его основе средств и методов защиты от шума.

Акустический расчёт должен производиться на стадии технического проекта по комплексу сооружений или отдельному объекту.

Акустический расчёт включает:

- выявление источников шума и определение их шумовых характеристик;
- выбор расчетных точек в помещениях или на территориях на которых производится акустический расчёт;
- определение допустимых уровней звукового давления $L_{\text{доп}}$ для расчётных точек;
- выявление путей распространения шума от источников до расчётных точек;
- определение ожидаемых уровней звукового давления L в расчётных точках до осуществления мероприятий по снижению шума с учётом снижения уровня звуковой мощности ΔL_p на пути распространения звука;
- определение требуемого снижения уровней звукового давления $\Delta L_{\text{тр}}$ в расчётных точках;
- выбор мероприятий, обеспечивающих требуемое снижение уровней звукового давления в расчётных точках;
- расчет и проектирование, выбор типа и размеров шумоглушащих, звукопоглощающих и звукоизолирующих конструкций (глушителей, экранов, звукопоглощающих облицовок, звукоизолирующих кожухов и т.д.);
- проверочный расчет достаточности выбранных шумозащитных мероприятий для обеспечения защиты объекта или территории от шума.

Акустический расчет следует проводить по уровням звуковой мощности L_w , дБ, или уровням звукового давления L_p , дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Допускается также проведение расчетов по скорректированному уровню звуковой мощности L_{Aw} , дБА, или по уровню звука по частотной коррекции "А" L_A , дБА.

Расчет проводят с точностью до десятых долей децибела, окончательный результат округляют до целых значений.

Акустические расчеты должны выполняться по методикам, изложенным в соответствующих сводах правил и в частности СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».

В простейших случаях рассчитывают следующие параметры.

1. Суммарный уровень звукового давления L , создаваемый несколькими источниками звука с одинаковым уровнем звукового давления L_i , рассчитывают по формуле:

$$L = L_i + 10 \lg n,$$

где n – число источников шума с одинаковым уровнем звукового давления.

2. Уровень звуковой мощности в дБ одного источника относительно опорной мощности $W_0 = 10^{-12}$ Вт определяется по формуле:

$$L_1 = 10 \cdot \lg \frac{W}{10^{-12}}, \text{ дБ},$$

где W – излучаемая звуковая мощность, Вт.

3. Уровень звукового давления на рабочем месте определяется по формуле:

$$L_{\text{р.м.}} = L_1 + 10 \lg \left(1 + \frac{4}{F_{\text{об}} \cdot \alpha_{\text{пр}}} \right), \text{ дБ},$$

где $F_{\text{об}}$ – площадь пола под оборудованием, м^2 ,

$\alpha_{\text{пр}}$ – звукопоглощение, приведенное к единице площади пола, (коэффициент звукопоглощения).

4. Звукоизолирующая способность стен с плотностью материала свыше 200 кг/м^3 определяется по формуле:

$$R = 13,5 \cdot \lg m + 13, \text{ дБ},$$

где m – масса 1 м^2 стены, кг/м^2 .

5. Уровень шума за стенами помещения $\Delta L = L - R$, дБ.

6. Суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения в цехе при отсутствии облицовки составит:

$$A_{\text{необл}} = F_{\text{пт}} \cdot \alpha_{\text{пт}} + F_{\text{ст}} \cdot \alpha_{\text{ст}} + F_{\text{пл}} \cdot \alpha_{\text{пл}} + F_{\text{ок}} \cdot \alpha_{\text{ок}}, \text{ м}^2,$$

где: $F_{\text{пт}}$, $F_{\text{ст}}$, $F_{\text{пл}}$, $F_{\text{ок}}$ – соответственно площадь потолка, стен, пола и окон;

$\alpha_{пт}$, $\alpha_{ст}$, $\alpha_{пл}$, $\alpha_{ок}$ – коэффициенты звукопоглощения потолка, стен, пола и окон.

7. Суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения в цехе при облицовке составит:

$$A_{обл} = (F_{пт} + F_{ст}) \cdot \alpha + F_{пл} \cdot \alpha_{пл} + F_{ок} \cdot \alpha_{ок}, \text{ м}^2,$$

где α – коэффициенты звукопоглощения облицовки.

8. Снижение уровня шума в цехе определяется по формуле:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_{обл}}{A_{необл}}, \text{ дБ.}$$

9. После облицовки уровень шума в цехе составит:

$$L_{обл} = L - \Delta L, \text{ дБ.}$$

2. Пример расчета

Провести следующие акустические расчеты по защите от шума формовочного цеха:

а) рассчитать громкость шума в точке, равноудаленной от другого рабочего оборудования. Количество оборудования $n = 10$ шт., частота шума $f = 80$ Гц, уровень интенсивности одного источника $L_i = 85$ дБ одинаков для всего оборудования;

б) рассчитать уровень звукового давления на рабочих местах, если: излучаемая звуковая мощность оборудования составляет 10^{-9} % от расходуемой мощности; расходуемая мощность составляет $N = 10$ кВт; на одно оборудование приходится площадь пола $F_{об} = 25$ м²; звукопоглощение, приведенное к единице площади пола, $\alpha_{пр} = 0,25$;

в) рассчитать уровень шума за стенами цеха, если стены помещения толщиной в два кирпича, что составляет вес $1\text{ м}^2 - 834$ кг;

г) рассчитать эффективность звукопоглощающих облицовок в цехе, если: площадь пола и потолка $F_{пл} = F_{пт} = 400$ м²; общая площадь стен $F = 500$ м², из

них 50% площади занимают окна; коэффициенты звукопоглощения пола $\alpha_{пл} = 0,02$; стен и потолка $\alpha_{ст} = \alpha_{пт} = 0,012$; окон $\alpha_{ок} = 0,18$; облицовочный материал стен и потолка имеет коэффициент звукопоглощения $\alpha = 0,9$.

Решение:

1. Определяем суммарный уровень звукового давления шума:

$$L = L_i + 10 \lg n = 85 + 10 \lg 10 = 95 \text{ дБ.}$$

2. Уровень звуковой мощности одного источника определяем по формуле:

$$L_1 = 10 \cdot \lg \frac{W}{10^{-12}} = 10 \cdot \lg \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9}}{10^{-12}} = 70,$$

где $W = 10^{-9} \cdot N$ – излучаемая звуковая мощность, Вт.

3. Определяем уровень звукового давления на рабочем месте по формуле:

$$L_{р.м.} = L_1 + 10 \lg \left(1 + \frac{4}{F_{об} \cdot \alpha_{пр}} \right) = 70 + 10 \lg \left(1 + \frac{4}{25 \cdot 0,25} \right) = 72,15 \text{ дБ.}$$

4. Определяем звукоизолирующую способность стен с плотностью материала выше 200 кг/м^3 по формуле:

$$R = 13,5 \cdot \lg m + 13 = 13,5 \cdot \lg 834 + 13 = 52,44 \text{ дБ,}$$

где m – масса 1 м^2 стены, кг/м^2 .

5. Определяем уровень шума за стенами формовочного цеха:

$$\Delta L = L - R = 95 - 52,44 = 42,56 \text{ дБ.}$$

6. Суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения в цехе без облицовки составит:

$$\begin{aligned} A_{необл} &= F_{пт} \cdot \alpha_{пт} + F_{ст} \cdot \alpha_{ст} + F_{пл} \cdot \alpha_{пл} + F_{ок} \cdot \alpha_{ок} = \\ &= (400 + 0,5 \cdot 500) 0,012 + 400 \cdot 0,02 + 0,5 \cdot 500 \cdot 0,18 = 60,8 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

7. Суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения в цехе при облицовке составит:

$$\begin{aligned} A_{обл} &= (F_{пт} + F_{ст}) \cdot \alpha + F_{пл} \cdot \alpha_{пл} + F_{ок} \cdot \alpha_{ок} = \\ &= (400 + 0,5 \cdot 500) 0,9 + 400 \cdot 0,02 + 0,5 \cdot 500 \cdot 0,18 = 638 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

8. Снижение уровня шума в цехе определяем по формуле:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_{\text{обл}}}{A_{\text{необл}}} = 10 \lg \frac{638}{60,8} = 10,21 \text{ дБ.}$$

9. После облицовки уровень шума в цехе составит:

$$L_{\text{обл}} = L - \Delta L = 95 - 10,21 = 84,79 \text{ дБ.}$$