КСР-3. **Тема 3.1 Акустический расчет.**

**Источники:**

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.
2. СНиП 23-03-2003. Защита от шума.

**Содержание.**

1. Основные физические величины, используемые в расчете.
2. Порядок проведения акустического расчета.
3. Примеры задач на акустический расчет.
4. **Основные физические величины, используемые в расчете.**

*Уровень звукового давления*. Величина, равная

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

дБ (децибел), где *p*0 – нулевой уровень звукового давления, равный давлению 2·10 –5 Па, *p* – звуковое давление измеряемого звука (Па).[[1]](#footnote-1)

*Мгновенная интенсивность звука*. Величина, равная мгновенному потоку энергии в определенном направлении через поверхность, перпендикулярную к этому направлению, денную на площадь этой поверхности

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Вт/м2, где *p* – мгновенное звукового давление, Па, ***u*** – скорость частиц в той же точке.

*Интенсивность звука*. Усредненная по времени мгновенная интенсивность звука.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

*Звуковая мощность*. Полная звуковая мощность, излучаемая источником.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Вт, *N* – число сегментов измерительной поверхности, – площадь *i*-го сегмента.

*Уровень звуковой мощности*. Логарифмическая мера звуковой мощности, излучаемой источником.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

дБ, *P*0 – пороговое значение мощности равное 10 – 12 Вт.

Для перевода уровня звукового давления в разы () можно использовать таблицу 3.1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Табл. 3.1. Перевод УЗД *L* в отношение давлений .

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *L*, дБ |  | *L*, дБ |  |
| 1 | 1,122 | 20 | 10 |
| 3 | 1,413 | 40 | 100 |
| 6 | 1,995 | 60 | 1000 |
| 8 | 2,512 | 80 | 104 |
| 10 | 3,162 | 100 | 105 |

 | Рис. 3.1. Частотные характеристики шумомеров (ГОСТ 17187-2010. Шумомеры.Технические требования.http://text.gosthelp.ru/images/text/3421.files/image004.jpg |

*Корректированные уровни звукового давления (уровни звука)*. Существуют 4 частотные характеристики шумомеров (международные частотные корректирующие характеристики) А, В, С, D.

*Эффективность защиты от шума* определяется как разность УЗД в РТ до и после применения шумозащиты

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Сложение УЗД (интенсивностей) в расчетной точке (РТ) от нескольких источников происходит по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

– суммарный уровень звукового давления, дБ, которая в случае наличия *N* одинаковых источников с УЗД *L* каждый, преобразуется к виду:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

**Пример 1.** Найти суммарный УЗД от двух одинаковых источников, создающих в РТ УЗД 90 дБ каждый.

Решение: воспользовавшись формулой (3), имеем:

При сложении двух различных УЗД суммарный уровень удобно находить в виде добавки к большему слагаемому:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Значение добавки можно найти по специальному графику, или в табличном виде. Некоторые значения добавок даны в табл. 3.2. Отметим, что при разности складываемых уровней более 20 дБ суммарный УЗД практически равен большему слагаемому.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Табл. 3.2. Значения добавок УЗД Δ в зависимости от разности УЗД Δ*L*.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Δ*L*, дБ | Δ, дБ | Δ*L*, дБ | Δ, дБ |
| 0 | 3 | 7 | 0,8 |
| 1 | 2,5 | 8 | 0,6 |
| 2 | 2 | 9 | 0,5 |
| 3 | 1,8 | 10 | 0,4 |
| 4 | 1,5 | 15 | 0,2 |
| 5 | 1,2 | 20 | ~ 0 |
| 6 | 1 |  |  |

 | **Пример 2.** В цехе 5 источников шума с УЗД 60, 60, 63, 66 и 69 дБ соответственно. Найти суммарный УЗД в цехе при одновременно работающих источниках.Решение: воспользовавшись формулой (4), последовательно имеем где – добавка для *i*+1-го источника шума ■. |

**Пример 3.** В цехе 2 источника шума с общим УЗД 60 дБ. Какой будет УЗД при выключении одного из станков.

Решение: воспользовавшись формулой (4), имеем ■.

1. **Порядок проведения акустического расчета.**

Исходными данными для акустического расчета являются:

план и разрез помещения с расположением технологического оборудования и РТ;

сведения об ограждающих конструкциях помещения (материал, толщина, плотность);

шумовые характеристики (октавные уровни звуковой мощности , указываемые в технической документации), геометрические размеры источников шума.

Акустический расчет производится в следующем **порядке.**

1. Определение УЗД в РТ по известным уровням звуковой мощности источников шума ИТ c использованием схемы взаимного расположения источников шума и расчетных точек и акустических характеристик помещения.
2. Определение требуемого снижения уровня в рабочей точке с использованием нормативных значений показателей шума .
3. При необходимости снижения уровня шума выбираются и рассчитываются средства защиты от шума, обеспечивающие снижение шума до требуемой величины.

**Определение УЗД в РТ.**

**Вариант 1.** РТ и один ИШ находятся в одном помещении. В этом случае исходной формулой для соразмерных помещений[[2]](#footnote-2) является следующая

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

где – УЗД в РТ, – уровень звуковой мощности ИШ по его паспортным или измеренным характеристикам, *𝜒* – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля, определяемый если расстояние до источника меньше удвоенного максимального габарита источника (см. табл. 3.3) *r* < 2*l*max, Ф – фактор направленности ИШ, определяемый по опытным данным, для ненаправленных источников принимается равным 1,[[3]](#footnote-3) – пространственный угол излучения источника (см. табл. 3.4), *r* – расстояние от акустического центра источника (геометрического центра) до РТ, м, *k* – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении, определяется в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения *α*ср (табл. 3.5), *B* – акустическая постоянная помещения, м2, определяемая по формуле

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

*А* – эквивалентная площадь звукопоглощения, м2, определяемая по формуле

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

где – коэффициент звукопоглощения *i*-й поверхности, – площадь *i*-й поверхности, – эквивалентная площадь звукопоглощения *j*-го звукопоглотителя, – их количество, – средний коэффициент звукопоглощения , где *S* – суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м2.

Исходя из акустической постоянной помещения и пространственного угла излучения Ω определяют граничный радиус , м, (на котором плотность энергии прямого звука равна плотности энергии отраженного звука) по формуле

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Табл. 3.3. Значения коэффициента ближнего поля χв зависимости от отношения расстояния r и максимального геометрического размера источника.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *r/l*max | *𝜒* | 10lg*𝜒*, дБ |
| 0,6 | 3 | 5 |
| 0,8 | 2,5 | 4 |
| 1,0 | 2 | 3 |
| 1,2 | 1,6 | 2 |
| 1,5 | 1,25 | 1 |
| 2 | 1 | 0 |

 | Табл. 3.4. Значения пространственного угла излучения источника Ω в зависимости от условий излучения.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Условия излучения | Ω | 10lg Ω, дБ |
| В пространство – источник на колонне, на мачте, трубе | 4π | 11 |
| В полупространство – источник на полу, стене, земле | 2π | 8 |
| В ¼ пространства – источник в двухгранном углу (на полу, близко от одной стены) | π | 5 |
| В 1/8 пространства – источник в трехгранном углу (на полу, близко от двух стены) | π/2 | 2 |

 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Табл. 3.5. Значения коэффициента нарушение диффузности звукового поля *k* в зависимости от *α*ср.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *α*ср | *k* | 10lg*k*, дБ |
| 0,2 | 1,25 | 1 |
| 0,4 | 1,6 | 2 |
| 0,5 | 2 | 3 |
| 0,6 | 2,5 | 4 |

 | Табл. 3.6. Значение затухания звука β*а* в атмосфере в зависимости от октавной полосы (*f* – среднегеометрическая частота).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *f,* Гц | β*а*, дБ/км | *f,* Гц | β*а*, дБ/км |
| 63 | 0 | 1000 | 6 |
| 125 | 0,7 | 2000 | 12 |
| 250 | 1,5 | 4000 | 24 |
| 500 | 3 | 8000 | 48 |

 |

Для РТ, расположенных в зоне до 0,5, используется формула

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

РТ, расположенные в зоне более чем 2, находятся в зоне отраженного звука и расчет проводится по формуле (10)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

**Вариант 2.** РТ и несколько ИШ находятся в одном помещении. В этом случае исходной формулой для соразмерных помещений является следующая

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

 – октавный уровень звуковой мощности *i*-го источника, дБ, *m* – число источников шума, ближайших к РТ (находящихся на расстоянии менее 5*r*min, где *r*min – расстояние от РТ до акустического центра ближайшего источника. Для одинаковых источников шума используется формула (3).

**Вариант 3.** РТ и ИШ расположены на территории более 2*l*min и между ними нет препятствий. Расчет осуществляется по формуле

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

где – затухание звука в атмосфере, дБ/км, учитываемое на расстояниях свыше 50 м (см. табл. 3.6).

УЗД на расстояниях *r*1 и *r*2 связаны соотношением:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

**Вариант 4.** РТ расположена в смежном помещении с ИШ. Расчет осуществляется по формуле

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

– УЗД в РТ в помещении с ИШ или вне помещения, на расстоянии 2 м от разделяющего помещения ограждения, определяемый по формулам (5), (11), (12), *S* – площадь ограждающей конструкции, м2, *R* – изоляция воздушного шума ограждающей конструкцией, через которую проникает шум, дБ,[[4]](#footnote-4) *В* – акустическая постоянная изолируемого помещения, м2.

Если ограждающая конструкция состоит из нескольких *n* частей с различной звукоизоляцией (например стекла с окном и дверью), *R* определяется по формуле

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |

где *R*i, *S*i – соответственно изоляция и площадь *i*-й части.

Последовательность акустического расчета в случае, если источники шума находятся в другом здании:

1. По формуле (16) определяется октавный УЗМ, прошедший через ограждение или несколько ограждений на территорию.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |

1. По формуле (12) определяется октавные УЗД во вспомогательной РТв на расстоянии 2 м от ограждения защищаемого от шума помещения для каждого комплексного ИШ. При этом для РТ в пределах 10° от плоскости стены здания вводится поправка на направленность ИШ 10lgФ = – 5 дБ.
2. По формуле (2) определяют суммарный УЗД *L*0 во вспомогательной РТв
3. По формуле (16) определяют УЗД *L*0 в защищаемом помещении для выбранной РТ.

**Определение требуемого снижения уровня шума.**

Требуемое снижение октавных уровней звукового давления определяется по каждой октавной полосе по формуле

|  |  |
| --- | --- |
|  | (17) |

где – допустимый УЗД, дБ (уровень звука в дБА), определяемый по таблице (СНиП 23-03-2003).

**Расчет средств защиты от шума для однослойных конструкций.**

Звукоизоляция однородной пластины зависит от частоты, качественный вид зависимости представлен на рис. 3.2.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| На низких частотах (диапазон А) величину *R*, дБ определяет в основном поверхностная плотность пластины (масса единицы площади) *μ*, значение R рассчитывается по формуле

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где ρ – плотность воздуха, с – скорость звука в воздухе, которая для н.у. может быть записана в виде: | Рис. 3.2. Частотная характеристика звукоизоляции *R**f**A**B**C**f*кр |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (18) |

Эта формула применима и для кожухов.

Для диапазона В наблюдается снижение звукоизоляции, обусловленное пространственным резонансом и *R* оказывается минимальной для некоторой критической частоты *f*кр, которая может быть рассчитана по формуле

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где – плотность, кг/м3, *Е* – модуль нормальной упругости материала пластины, Па.

Третий диапазон C расположен выше критической частоты *f*кр, на нем частотная характеристика является прямой, монотонно растущей на 25 дБ на декаду.

Как правило, R стараются выбрать в диапазоне С или А.

1. **Примеры задач на акустический расчет.**

**Пример 1.**

В помещении размерами *a*×*b*×*c*, м, со средним коэффициентом звукопоглощения для выбранной октавной полосы *f*ср = 500 Гц, равным *α*ср, установлены три одинаковых установки с уровнемзвуковой мощности, излучаемой корпусом одной установки (в соответствии с технической документацией) на указанной октавной полосе *L*w, дБ и максимальным линейным размером *l*max, м. Оборудование установлено в соответствии со схемой *N*. Определить УЗД в расчетной точке РТ, в соответствии со схемой (см. рис. 3.3 *1*), расположенной на расстояниях *r*1, *r*2, *r*3,м от соответствующей установки.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *a*×*b*×*c* | *α*ср | *L*w | *l*max | *N* | *r*1 | *r*2 | *r*3 |
| 6×5×3 | 0,1 | 62 | 0,69 | 1 | 3 | 2 | 3 |

По формуле (7) определяем эквивалентную площадь звукопоглощения *А.*

В формуле (6) акустическую постоянную помещения *В.*

Полагая, что все три источника находятся на полу (Ω = 2π), находим по (8) граничный радиус

Соответственно УЗД в РТ определяем по формуле (11), полагая Ф = 1, Ω = 2π, 𝜒 = 1 (табл. 3.3), *k* = 1 (табл. 3.5) или используя (3)

Норма шума по табл. 1. СНиП 23.003-2003 составляет для постоянного рабочего места в машинном зале на частоте 500 Гц – 78 дБ, т.о. рассчитанный УЗД соответствует норме.

**Пример 2.**

Две установки с уровнемзвуковой мощности, излучаемой корпусом одной из них (в соответствии с технической документацией) на указанной октавной полосе с *f*ср = *f* Гц, *L*w, дБ и максимальным линейным размером *l*max, м, установлены на расстояниях *r*1, *r*2 от рабочего места (которое соответствует расчетной точке). Установки расположены в соответствии со схемой *N* (рис. 3.4). Определить УЗД в расчетной точке.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | *L*w | *l*max | *N* | *r*1 | *r*2 | *f* |
| 2 | 103 | 0,8 | 1 | 100 | 50 | 1000 |

По формуле (12) определяем УЗД в РТ при затухании звука в атмосфере, равном 6 (см. табл. 3.6.) для обоих источников шума. При этом исходя из схемы фактор направленности принимаем равным 1,0.

 дБ.

 дБ.

По формуле (2) определяем общий УЗД от двух источников шума:

 = = 56,0 дБ.

Норма шума по табл. 1. СНиП 23.003-2003 составляет для территорий на частоте 1000 Гц – 50 дБ, т.о. рассчитанный УЗД не соответствует норме и требуются средства защиты.

**Контрольные вопросы.**

1. Что такое уровень звукового давления и почему эта величина используется для характеристики звуковых волн. Формула и единицы измерения уровня звукового давления.
2. Чем отличаются уровень звука и уровень звукового давления. Какие существуют корректировочные характеристики.
3. Что такое звуковая мощность и уровень звуковой мощности. Формула и единица измерения.
4. На основании какого документа нормируются УЗД. Сущность акустического расчета.
5. Порядок проведения акустического расчета.
6. Что такое звуковая изоляция. От чего зависит звукоизоляция однородной пластины.

**Упражнения.**

* 1. В лаборатории размерами *a*×*b*×*c*, м, со средним коэффициентом звукопоглощения для выбранной октавной полосы *f*ср = 500 Гц, равным *α*ср, установлены три одинаковых стенда с уровнемзвуковой мощности, излучаемой корпусом одного стенда (в соответствии с технической документацией) на указанной октавной полосе *L*w, дБ и максимальным линейным размером *l*max, м. Стенды установлены в соответствии со схемой *N* (рис. 3.3). Определить УЗД в расчетной точке РТ, в соответствии со схемой, расположенной на расстояниях *r*1, *r*2, *r*3,м от соответствующих стендов.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | *a*×*b*×*c* | *α*ср | *L*w | *l*max | *N* | *r*1 | *r*2 | *r*3 | *f* |
| 1 | 6×5×3 | 0,1 | 62 | 0,7 | 1 | 3 | 2 | 3 | 500 |
| 3 | 5×4×3 | 0,2 | 66 | 1,2 | 1 | 2 | 1,5 | 2 | 500 |
| 5 | 7×6×3 | 0,2 | 70 | 0,8 | 1 | 4 | 2 | 4 | 1000 |
| 7 | 5×5×3 | 0,3 | 66 | 1,2 | 1 | 2 | 1,5 | 2 | 500 |
| 9 | 5×5×3 | 0,3 | 66 | 1,2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1000 |
| 11 | 5×5×3 | 0,1 | 70 | 0,8 | 2 | 2,5 | 2 | 2,5 | 500 |
| 13 | 4×5×3 | 0,1 | 72 | 0,9 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1000 |
| 15 | 4×5×3 | 0,2 | 72 | 0,9 | 2 | 2 | 1,5 | 2 | 1000 |
| 17 | 6×6×2,5 | 0,2 | 62 | 0,7 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2000 |
| 19 | 5×5×2,5 | 0,3 | 72 | 0,9 | 2 | 2 | 1,5 | 2 | 2000 |
| 21 | 5×5×2,5 | 0,4 | 62 | 0,7 | 3 | 2 | 3 | 2 | 500 |
| 23 | 4×5×2,5 | 0,5 | 78 | 0,85 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1000 |
| 25 | 7×6×2,5 | 0,4 | 78 | 0,85 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2000 |

1

Схема 1

РТ

2

3

1

Схема 2

РТ

2

3

1

Схема 3

РТ

2

3

Рис. 3.3. Схемы размещения оборудования.

* 1. Две агрегата с уровнемзвуковой мощности, излучаемой корпусом одного из них (в соответствии с технической документацией) на указанной октавной полосе с *f*ср = *f* Гц, *L*w, дБ и максимальным линейным размером *l*max, м, установлены на расстояниях *r*1, *r*2, м от рабочего места (которое соответствует расчетной точке). Агрегаты расположены в соответствии со схемой *N* (см. рис. 3.4). Определить УЗД в расчетной точке.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | *L*w | *l*max | *N* | *r*1 | *r*2 | *f* |
| 2 | 103 | 0,7 | 1 | 100 | 50 | 500 |
| 4 | 107 | 1,2 | 1 | 150 | 50 | 500 |
| 6 | 111 | 0,8 | 1 | 100 | 150 | 1000 |
| 8 | 110 | 1,2 | 1 | 70 | 80 | 500 |
| 10 | 98 | 1,2 | 1 | 80 | 80 | 1000 |
| 12 | 102 | 0,8 | 1 | 100 | 80 | 500 |
| 14 | 102 | 0,9 | 1 | 80 | 100 | 1000 |
| 16 | 108 | 0,9 | 2 | 90 | 70 | 1000 |
| 18 | 108 | 0,7 | 2 | 150 | 100 | 2000 |
| 20 | 109 | 0,9 | 2 | 100 | 100 | 2000 |
| 22 | 112 | 0,7 | 2 | 100 | 100 | 500 |
| 24 | 107 | 0,85 | 2 | 150 | 100 | 1000 |
| 26 | 104 | 0,85 | 2 | 150 | 90 | 2000 |

1

Схема 1

РТ

2

1

Схема 2

РТ

2

Рис. 3.4. Схемы размещения оборудования.

1. Под звуковым давлением понимают разность между мгновенным значением давления и средним давлением в невозмущенной среде, при прохождении через нее звуковых волн. Пороговое значение соответствует пределу слышимости на частоте 1 кГц. [↑](#footnote-ref-1)
2. С соотношением геометрических размеров не более 5. [↑](#footnote-ref-2)
3. Под фактором направленности понимают отношение интенсивности звука *I*, создаваемой ИШ в данном поле к интенсивности сферического источника той же мощности, но излучающего равномерно во все стороны. [↑](#footnote-ref-3)
4. Изоляция воздушного шума (звукоизоляция) – способность ограждающей конструкции уменьшать проходящий через нее звук. При акустических расчетах под ней понимается обеспечиваемое разделяющем два помещения ограждением снижение УЗД в дБ, приведенное к условиям равенства площади ограждающей конструкции эквивалентной площади звукопоглощения в защищаемом помещении [↑](#footnote-ref-4)