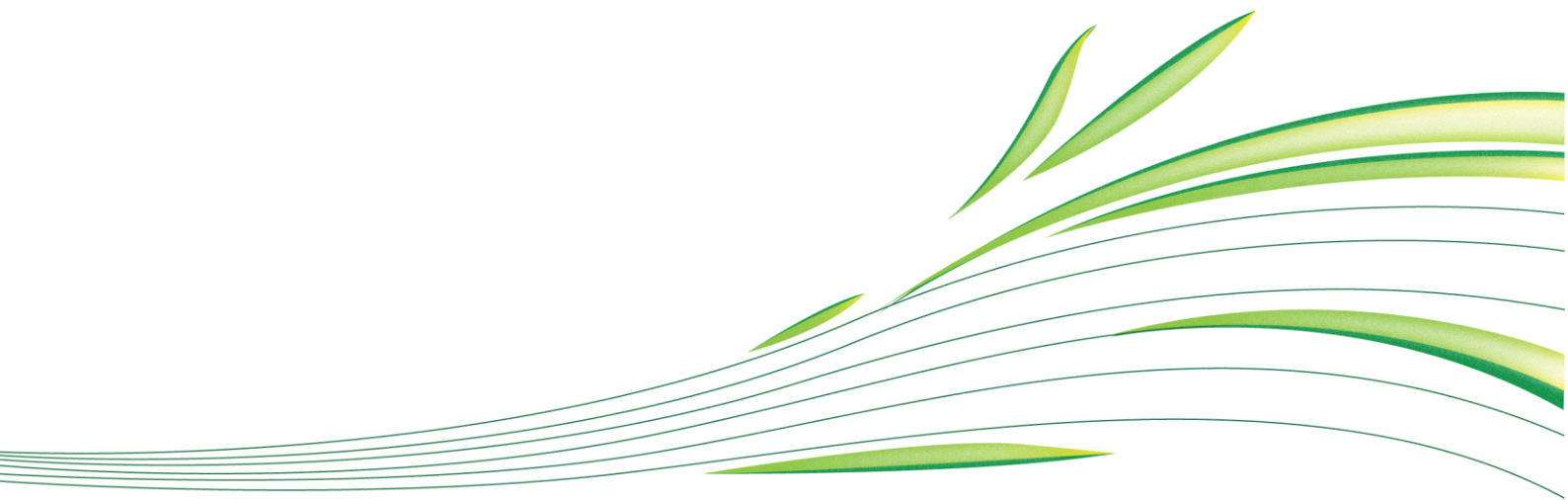


Высокие технологии в экологическом проектировании



# Шум. Расчётная модель

Руководство пользователя  
(ред. 02.10.2024)



[www.eco-c.ru](http://www.eco-c.ru)

© 2008 - 2024 ООО «ЭКО центр»



## Шум. Расчётная модель

Расчётная модель программы «ЭКОцентр. Шум» является реализацией положений следующих нормативных и методических документов:

1. ГОСТ 31295.1-2005 Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой
2. ГОСТ 31295.2-2005 Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета
3. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
4. СП 23-104-2004 Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена

### СОДЕРЖАНИЕ

1 Нормативное обоснование .....	4
2 Источники шума и их характеристики .....	6
3 Основные формулы .....	8
4 Затухание из-за геометрической дивергенции $A_{div}$ .....	9
5 Затухание из-за звукопоглощения атмосферой $A_{atm}$ .....	9
6 Затухание из-за влияния земли $A_{gr}$ .....	10
7 Затухание из-за барьеров $A_{bar}$ .....	12
8 Снижение акустической эффективности $DL$ .....	17
9 Дополнительные виды затухания $A_{misc}$ .....	18
10 Затухание в листве $A_{fol}$ .....	19
11 Затухание в промышленных зонах $A_{site}$ .....	20
12 Затухание в жилых массивах $A_{hous}$ .....	21
13 Звукоотражение .....	22
14 Проникающий шум .....	24

15 Шум в помещении .....	27
16 Разработчик.....	29
17 Служба технической поддержки.....	29

## 1 Нормативное обоснование

**СП 51.13330.2011 «Защита от шума»** введен в действие с 20 мая 2011 г. Приказом Минрегион РФ от 28 декабря 2010 г. и является актуализированной редакцией **СНиП 23-03-2003**.

Расчёт проводят с точностью до десятых долей децибела, окончательный результат округляют до целых значений (п.4.5 СП 51.13330.2011).

Для расчётных точек, расположенных на территории, расчёт октавных уровней звукового давления следует выполнять по ГОСТ 31295.2. (п.7.5 СП 51.13330.2011).

Октавные уровни звукового давления суммарного шума при действии нескольких источников шума определяют посредством энергетического суммирования октавных уровней, создаваемых в расчетной точке каждым источником шума (п.7.5 СП 51.13330.2011).

Расчетные точки на площадках отдыха микрорайонов и групп жилых домов, на площадках детских дошкольных учреждений, на участках школ, больниц и санаториев следует выбирать на ближайшей к источнику шума границе площадок на высоте 1,5 м от поверхности земли. Если площадка частично находится в зоне звуковой тени от здания, сооружения или какого-либо другого экранирующего объекта, а частично в зоне действия прямого звука, то расчетная точка должна находиться вне зоны звуковой тени (п.12.5 СП 51.13330.2011).

Расчетные точки на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам и другим зданиям, в которых уровни проникающего шума нормируются разделом 6 настоящих норм, следует выбирать на расстоянии 2 м от фасадов зданий, обращенных в сторону источника внешнего шума, и на высоте 1,5 м над поверхностью земли для одно- и двухэтажных зданий или на высоте 4 м для трехэтажных и более высоких зданий (п.12.5 СП 51.13330.2011).

**ГОСТ 31295.1-2005 «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой»** введен в действие с 1 января 2007 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 июля 2006 г. № 134-ст.

Данный стандарт содержит табличные значения и формулы расчета коэффициентов затухания звука в атмосфере и является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 9613-1:1993 «Акустика. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой» (ISO 9613-1:1993 «Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere»).

**ГОСТ 31295.2-2005 «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета»** введен в действие с 1 января 2007 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 июля 2006 г. № 135-ст.

Данный стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 9613-2:1996 «Акустика. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета» (ISO 9613-2:1996 «Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation»).

Расчетные формулы ГОСТ 31295.2-2005 справедливы для затухания звука от точечного источника. Протяженные источники шума, такие как автомобильный поток и поезда на железной дороге или предприятие, на котором может быть несколько установок или производств, а также движущийся транспорт, должны быть представлены совокупностью единичных источников шума (частей, секций и т.д.), каждый из которых имеет известные звуковую мощность и показатель направленности. Затухание, рассчитанное для звука из репрезентативной точки единичного источника шума, считают затуханием звука единичного источника. Линейные источники могут быть разделены на отрезки, плоские (поверхностные) источники - на участки, и каждая из этих частей может быть заменена точечным источником, находящимся в центре части. (п.4 ГОСТ 31295.2-2005).

**СП 23-104-2004 «Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена»** введен в действие Постановлением Госстроя России от 9 марта 2004 г. № 19.

Содержит разъяснения отдельных положений ГОСТ 31295.2-2005:

- пункт 3.7.3. СП 23-104-2004 устанавливает, что для подстилающей поверхности с большими неровностями при скользющем угле более 30° необходимо указывать любой тип поверхности как «жесткая»;
- пункт 3.3.8.3 СП 23-104-2004 устанавливает, что для случая снижения уровня звукового давления экранирующими препятствиями, когда существует несколько путей прохождения звука от источника до приёмника, то в результате необходимо энергетически суммировать вклады от всех путей распространения звука.

**СП 254.1325800.2016 «Здания и территория. Правила проектирования защиты»** (утверждён приказом Минстроя России от 17.08.2016 г. №571/пр) позволяет определить октавный уровень звукового давления для расчётных точек, расположенных в помещении в зоне действия прямого и отражённого звука.

## 2 Источники шума и их характеристики

**Мощность звука** – шумовыми характеристиками технологического и инженерного оборудования, создающего постоянный шум, являются уровни звуковой мощности  $L_w$ , в заданном диапазоне используемых полосах частот, а оборудования, создающего непостоянный шум, – эквивалентные уровни звуковой мощности  $L_{wэкв}$  и максимальные уровни звуковой мощности  $L_{wмакс}$  в заданном диапазоне используемых полосах частот.

Для расчёта определяющими являются исходные данные об уровне звука А (энергетическая сумма скорректированной по шкале А частотных уровней звуковой мощности), а введённые данные по частотам используются как спектральная характеристика источника шума.

**Давление на площадь** – шумовой характеристикой источника шума может являться уровень звукового давления, создаваемого на площадь воображаемой поверхности, окружающей источник шума.

**Давление на расстоянии** – шумовой характеристикой источника шума может являться уровень звукового давления, создаваемого на заданном расстоянии. Для определения уровня звуковой мощности вокруг источника шума на заданном расстоянии строится буферная зона и в середине наиболее протяженного отрезка буферной зоны устанавливается вспомогательная расчётная точка. Далее проводится пересчёт уровня звукового давления в уровень звуковой мощности источника шума. При данном пересчёте учитывается лишь фактор геометрической дивергенции при распространении звука в свободном пространстве. Другие факторы, оказывающие влияние на затухание(усиление) звука, не рассматриваются.

**Давление с отражением** – аналогично **Давлению на расстоянии**, но с учётом отражения от поверхности земли и затухания из-за звукопоглощения атмосферой, которые оказывают значительное влияние на результаты расчёта при отдалении вспомогательной расчётной точки от источника шума.

Эквивалентный шум учитывается применительно к режиму работы источника шума. При расчете суточного шумового поля эквивалентный шум осредняется 16-ти часовым временным интервалом для дневного времени суток (с 07:00 до 23:00) и 8-ми часовым для ночного времени суток (с 23:00 до 07:00). Для расчётных точек максимума эквивалентный шум осредняется по временному интервалу того норматива из справочника, на который у расчётной точки установлена ссылка, иначе осреднение производится суточным (дневным и ночным) интервалом. Осреднение применимо к целочисленным временным интервалам, например, источник, работающий с 8:45 до 10:30 будет учтён как работающий 15 минут в интервале 08:00-09:00, 60 минут в 09:00-10:00 и 30 минут в интервале 10:00-11:00.

Источники относящиеся по своим режимам к различным номерам одновременности считаются работающими неодновременно. Максимальный и эквивалентный шум для каждого номера одновременности считается отдельно, а результат формируется по номеру одновременности с

наибольшим значением максимального, а при равенстве величин максимального, то по наибольшему значению эквивалентного шума.

Источник без указания набора номеров одновременности считается работающим одновременно с каждым из номеров набора.

Эквивалентный шум от вариантов одного источника шума суммируется в рамках данного источника шума, а максимальный шум – используется наибольшее абсолютное значение из всех учитываемых в наборе данных вариантов.

### 3 Основные формулы

Эквивалентный октавный уровень звукового давления с подветренной стороны  $L_{ft}(DW)$  на приемнике рассчитывают для каждого точечного источника и мнимого источника для октавных полос со среднегеометрической частотой от 31,5 до 8000 Гц по формуле (1):

$$L_{ft}(DW) = L_W + D_C - A \quad (1)$$

где  $L_W$  - октавный уровень звуковой мощности точечного источника шума относительно опорного значения звуковой мощности, равного 1 пВт, дБ;

$D_C$  - поправка, учитывающая направленность точечного источника шума и показывающая, насколько отличается эквивалентный уровень звукового давления точечного источника шума в заданном направлении от уровня звукового давления ненаправленного точечного источника шума с тем же уровнем звуковой мощности  $L_W$ , дБ.

Поправка  $D_C$  равна сумме показателя направленности точечного источника шума  $D_I$  и поправки  $D_\Omega$ , вводимой при распространении звука в пределах телесного угла  $\Omega$  менее  $4\pi$  ср (стерадиан).

Для ненаправленного точечного источника шума, излучающего: в свободное пространство ( $\Omega = 4\pi$ ),  $D_C = 0$ ; в полупространство ( $\Omega = 2\pi$ ),  $D_C = 3$ ; в  $\frac{1}{4}$  пространства ( $\Omega = \pi$ ),  $D_C = 6$ ; в  $\frac{1}{8}$  пространства ( $\Omega = \frac{1}{2}\pi$ ),  $D_C = 9$ ;

$A$  - затухание в октавной полосе частот при распространении звука от точечного источника шума к приемнику, дБ.

Затухание  $A$  в формуле (1) рассчитывают по формуле (2)

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (2)$$

где  $A_{div}$  - затухание из-за геометрической дивергенции (из-за расхождения энергии при излучении в свободное пространство);

$A_{atm}$  - затухание из-за звукопоглощения атмосферой;

$A_{gr}$  - затухание из-за влияния земли;

$A_{bar}$  - затухание из-за экранирования;

$A_{misc}$  - затухание из-за влияния прочих эффектов.



**Уровень звука  $L_{pA}$**  определяют суммированием откорректированных по  $A$  октавных уровней звукового давления. Его рассчитывают по формуле (3):

$$L_{pA} = 10 \cdot \lg \sum 10^{0,1 \cdot (L_{fT}(DW) + A)} \quad (3)$$

**Суммарный уровень звукового давления** от всех источников, с учетом мнимых источников  $\Sigma L_{fT}(DW)$  определяется по формуле (4) энергетическим суммированием:

$$\Sigma L_{fT}(DW) = 10 \cdot \lg \sum 10^{0,1 \cdot L_{fT}(DW)} \quad (4)$$

## 4 Затухание из-за геометрической дивергенции $A_{div}$

Затухание из-за геометрической дивергенции (затухание в свободном пространстве из-за расхождения звуковой энергии)  $A_{div}$ , дБ, происходящее в результате сферического распространения звука точечного источника шума в свободном звуковом поле, рассчитывают по формуле (5):

$$A_{div} = 20 \cdot \lg (d / d_0) + 11 \quad (5)$$

где  $d$  – расстояние от источника шума до приемника, м;

$d_0$  – опорное расстояние ( $d_0 = 1$  м).

## 5 Затухание из-за звукопоглощения атмосферой $A_{atm}$

Затухание из-за звукопоглощения атмосферой  $A_{atm}$ , дБ, на расстоянии  $d$ , м, от источника шума определяют по формуле (6):

$$A_{atm} = \alpha \cdot d / 1000 \quad (6)$$

где  $\alpha$  - коэффициент затухания звука в октавной полосе частот в атмосфере.

Значения  $\alpha$  определяют согласно **ГОСТ 31295.1**. Данные, которые есть в таблице 1 ГОСТ 31295.1, принимаются по таблице. Недостающие данные – рассчитываются по формулам ГОСТ 31295.1. При расчете коэффициент затухания  $\alpha$  в атмосфере усредняют по погодным условиям данной местности. Значение  $\alpha$  принимаются, по умолчанию, при следующих погодных условиях: температура воздуха 20°C; относительная влажность 70%; атмосферное давление 101,325 кПа.

## 6 Затухание из-за влияния земли $A_{gr}$

Основная причина затухания из-за влияния земли  $A_{gr}$  - интерференция звуковых волн, отраженных поверхностью земли, с волнами прямого звука от источника шума к приемнику.

При распространении звука по ветру это затухание в основном определяется влиянием земли вблизи источника шума и приемника. Метод расчета затухания из-за влияния земли применим только в случае практически плоской поверхности земли вне зависимости от того, горизонтальная она или наклонная. При этом различают (рисунок 1) три основные зоны (области):

- зону источника длиной до  $30h_s$  и максимальным значением, равным  $d_p$  ( $h_s$  - высота точечного источника шума над землей;  $d_p$  - проекция расстояния от точечного источника шума до приемника на плоскость земли);
- зону приемника длиной до  $30h_r$  и максимальным значением, равным  $d_p$  ( $h_r$  - высота приемника над землей);
- среднюю зону. Если  $d_p < (30h_s + 30h_r)$ , то зоны источника и приемника частично перекрываются и средняя зона отсутствует.

Расчет величины  $d_p$  производится с учетом рельефа поверхности земли.



Рисунок 1 - Три основные зоны при определении затухания из-за влияния земли

Согласно данной схеме затухание из-за влияния земли не зависит от длины средней зоны, но в большей степени зависит от характеристик поверхности земли в зонах источника и приемника.

Акустические характеристики поверхности земли в зонах учитывают коэффициентом отражения от поверхности земли  $G$ . Различают три категории поверхностей земли по звукоотражению:

1. **твёрдую поверхность** (асфальт, мощеная, залитая водой, покрытая льдом, бетонированная и прочие поверхности с низкой пористостью). Например, утрамбованный грунт, часто

встречающийся вокруг промышленных площадок, можно считать твердой поверхностью. Для твердой поверхности 0.

2. **пористую поверхность** (голая или покрытая травой земля, деревья и другая растительность, а также прочие поверхности, пригодные для выращивания растений, например земли сельскохозяйственного назначения). Для пористой поверхности 1;
3. **смешанную поверхность**. Если поверхность имеет твердые и пористые участки, то принимает значения от 0 до 1 пропорционально площади поверхности пористых участков.

Для определения затухания из-за влияния земли в заданной октавной полосе частот рассчитывают: затухание  $A_s$  в зоне источника при заданном показателе поверхности земли  $G_s$ ; затухание  $A_r$  в зоне приемника с показателем поверхности  $G_r$ ; затухание  $A_m$  в средней зоне с показателем поверхности  $G_m$  - по формулам таблицы 1. Общее затухание из-за влияния земли в заданной октавной полосе частот определяют по формуле (7)

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad (7)$$

Таблица 1 - Формулы для расчета составляющих  $A_s$ ,  $A_r$ ,  $A_m$  и затухания  $A_{gr}$  из-за влияния земли в октавных полосах частот

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	$A_s$ или $A_r^*$ , дБ	$A_m$ , дБ
31,5	-1,5	$-3 \cdot q^{**}$
63	-1,5	$-3 \cdot q$
125	$-1,5 + G \times a'(h)$	$-3 \cdot q \cdot (1 - G_m)$
250	$-1,5 + G \times b'(h)$	$-3 \cdot q \cdot (1 - G_m)$
500	$-1,5 + G \times c'(h)$	$-3 \cdot q \cdot (1 - G_m)$
1000	$-1,5 + G \times d'(h)$	$-3 \cdot q \cdot (1 - G_m)$
2000	$-1,5 \cdot (1 - G)$	$-3 \cdot q \cdot (1 - G_m)$
4000	$-1,5 \cdot (1 - G)$	$-3 \cdot q \cdot (1 - G_m)$
8000	$-1,5 \cdot (1 - G)$	$-3 \cdot q \cdot (1 - G_m)$

\* Для расчета  $A_s$  принимают  $G = G_s$  и  $h = h_s$ . Для расчета  $A_r$  принимают  $G = G_r$  и  $h = h_r$ .

\*\*  $q = 0$ , если  $d_p \leq (30h_s + 30h_r)$ ;  $q = 1 - 30(h_s + h_r)/d_p$ , если  $d_p > (30h_s + 30h_r)$

$$a'(h) = 1,5 + 3,0 \cdot e^{-0,12 \cdot (h-5)^2} (1 - e^{-d_p/50}) + 5,7 \cdot e^{-0,09 \cdot h^2} (1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-6} \cdot d_p});$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6 \cdot e^{-0,09 \cdot h^2} (1 - e^{-d_p/50});$$

$$c'(h) = 1,5 + 14,0 \cdot e^{-0,46 \cdot h^2} (1 - e^{-d_p/50});$$

$$d'(h) = 1,5 + 5,0 \cdot e^{-0,9 \cdot h^2} (1 - e^{-d_p/50}).$$

## 7 Затухание из-за барьеров $A_{bar}$

Объект считают барьером или экранирующим препятствием, если:

- поверхностная плотность его не менее 10 кг/м ;
- поверхность его сплошная (без больших разрывов или просветов (например, технологические установки на химических предприятиях не считают барьером);
- горизонтальный размер экранирующего препятствия в направлении, перпендикулярном к линии, соединяющей источник и приемник, более длины звуковой волны  $\lambda$  с частотой, равной среднегеометрической частоте октавной полосы, т.е.  $l_s + l_r > \lambda$  (рисунок 2).

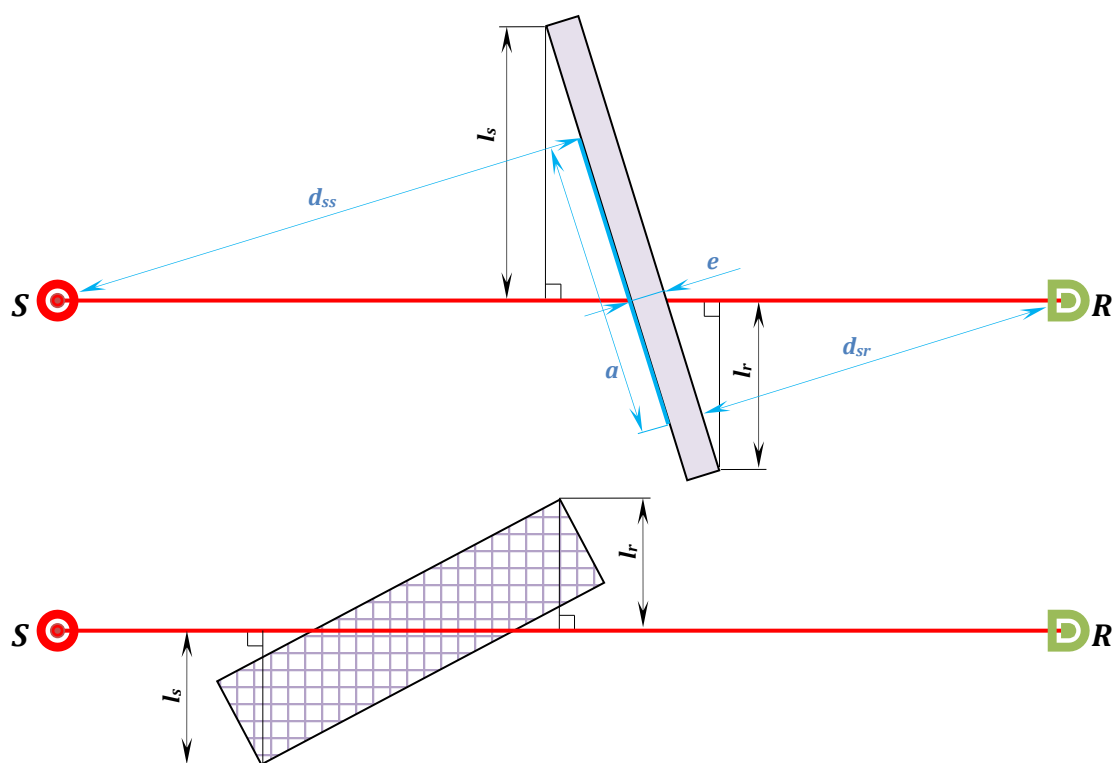


Рисунок 2 - Вид сверху на два барьера между источником шума  $S$  и приемником  $R$

Принимают, что боковые кромки барьера вертикальны. Верхняя кромка барьера является прямой линией, которая может быть наклонной.

Объект считают барьером, если его горизонтальный размер, перпендикулярный к линии  $SR$ , соединяющей источник шума и приемник, превышает длину звуковой волны, т.е.  $l_s + l_r > \lambda$ .

Затухание из-за экранирования  $A_{bar}$  считают вносимыми потерями. Должна быть принята во внимание дифракция на верхней и вертикальных кромках барьера (рисунок 3). При

распространении звука по ветру затухание с учетом дифракции на верхней кромке рассчитывают по формуле (8):

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0 \quad (8)$$

где  $D_z$  - затухание на барьере для каждой октавной полосы частот, рассчитываемое по формуле (10);

$A_{gr}$  - затухание из-за влияния земли при отсутствии барьера. Значение  $A_{gr}$  рассчитывают по формуле (7).

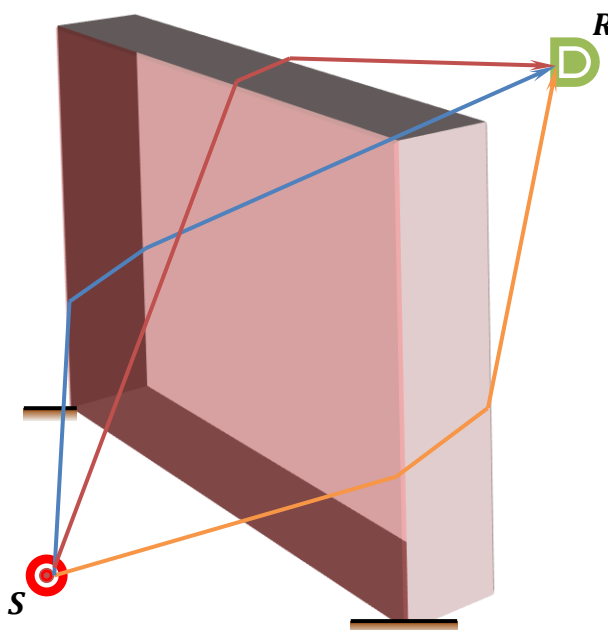


Рисунок 3 - Различные пути распространения звука вокруг экранирующего препятствия

Затухание с учетом дифракции на вертикальных кромках рассчитывают по формуле (9):

$$A_{bar} = D_z > 0 \quad (9)$$

Если  $A_{bar}$ , определенное по формуле (8), подставляют в формулу (2) для определения общего затухания  $A$ , то члены  $A_{gr}$  взаимно уничтожаются. Затухание на барьере  $D_z$  в формуле (8) включает в себя затухание из-за влияния земли при наличии экранирующего препятствия.

При расчете затухания на экранирующем препятствии  $D_z$  предполагают, что имеется один основной путь распространения звука от источника шума к приемнику. Если данное предположение недействительно, то следует выполнить расчет для разных путей распространения звука, показанных на рисунке 3. В результате необходимо энергетически суммировать вклады от всех путей распространения звука.

Затухание на экранирующем препятствии  $D_z$ , дБ, для данного пути рассчитывают по формуле (10):

$$D_z = 10 \cdot \lg [ 3 + (C_2 / \lambda) \cdot C_3 \cdot z \cdot K_{met} ] \quad (10)$$

где  $C_2$  - константа, учитывающая эффект отражения от земли ( $C_2 = 20$ ). Если в особых случаях (твёрдый грунт, скальные породы и т.п.) во внимание принимают отражение от земли звука мнимых источников, то  $C_2 = 40$ ;

$C_3$  - константа, учитывающая дифракцию на верхних кромках. При дифракции на одной кромке (рисунок 4)  $C_3 = 1$ . При дифракции на двух кромках (рисунок 5) константу рассчитывают по формуле (11);

$z$  - разность длин путей распространения звука через дифракционную кромку (кромки) и прямого звука, рассчитанных по формулам (12) и (13), м;

$K_{met}$  - коэффициент, учитывающий влияние метеорологических условий, определяемый по формуле (14).

$$C_3 = [ 1 + (5 \cdot \lambda / e)^2 ] / [ 1/3 + (5 \cdot \lambda / e)^2 ] \quad (11)$$

где  $\lambda$  - длина звуковой волны с частотой, равной среднегеометрической частоте октавной полосы, м;

$e$  - расстояние между дифракционными кромками (рисунки 2,5).

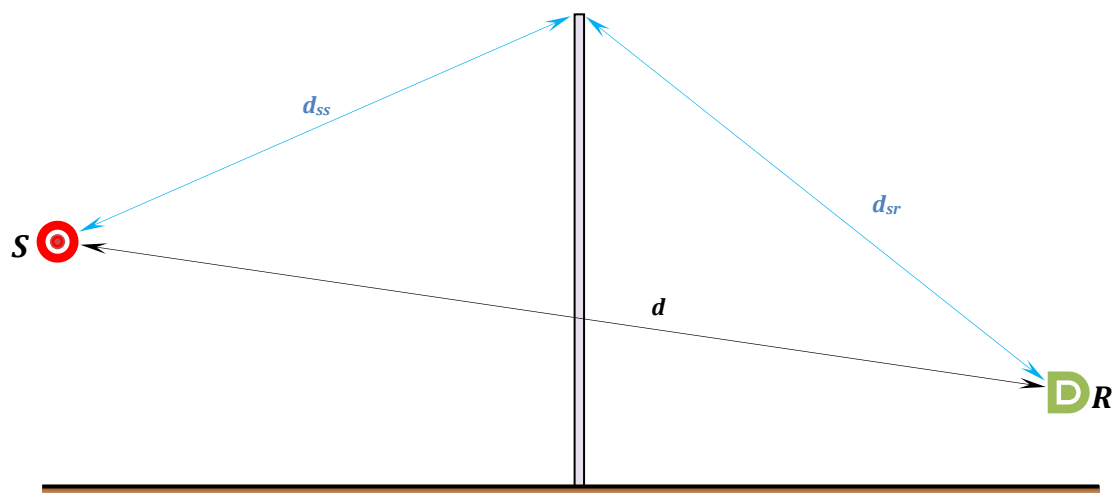


Рисунок 4 - Геометрические величины для определения разности длин путей распространения звука при дифракции на одной кромке

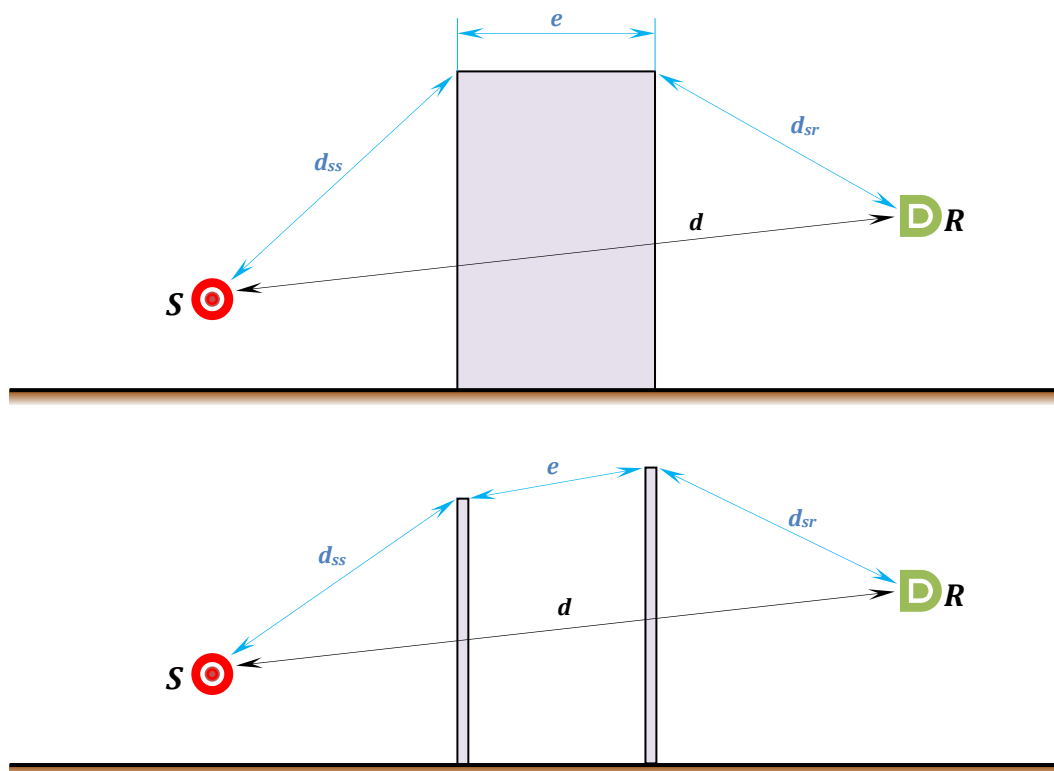


Рисунок 5 - Геометрические величины для определения разности длин путей распространения звука при дифракции на двух кромках

При дифракции на одной кромке (рисунок 4) разность длин путей распространения звука  $z$ , м, рассчитывают по формуле (12):

$$z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2]^{1/2} - d \quad (12)$$

где  $d_{ss}$  - расстояние от источника шума до дифракционной кромки (до первой дифракционной кромки в случае дифракции на двух кромках), м;

$d_{sr}$  - расстояние от дифракционной кромки (от второй дифракционной кромки в случае дифракции на двух кромках) до приемника, м;

$a$  - проекция на кромку барьера траектории распространения звука от источника к приемнику через верхнюю кромку барьера, м.

Расстояния  $d_{ss}$  и  $d_{sr}$  измеряют, соответственно, по перпендикулярам, опущенным из источника шума и приемника на верхнюю кромку барьера. Значение  $a$  равно расстоянию между основаниями этих перпендикуляров вдоль верхней кромки. На чертежах рисунков 4 и 5 показаны фронтальные проекции этих расстояний и расстояния  $d$ . Расстояние  $a$  не видно, так как фронтальная проекция его представляет собой точку. Расстояние  $a$  можно увидеть на чертеже рисунка 2.

Если линия, соединяющая источник шума  $S$  и приемник  $R$ , проходит над верхней кромкой барьера, то значению  $z$  приписывают знак минус.

При дифракции на двух кромках (рисунок 5) разность длин путей  $z$  рассчитывают по формуле (13):

$$z = [(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2]^{1/2} - d \quad (13)$$

Коэффициент  $K_{met}$  в формуле (10) рассчитывают по формулам (14, 15):

$$K_{met} = \exp\{-0,0005 \cdot [d_{ss} \cdot d_{sr} \cdot d / (2 \cdot z)]^{1/2}\} \text{ для } z > 0 \quad (14)$$

$$K_{met} = 1 \text{ для } z \leq 0 \quad (15)$$

При дифракции на боковых кромках экранирующего препятствия (рисунок 3) принимают  $K_{met} = 1$ .

Затухание на барьере  $D_z$  в любой октавной полосе частот не следует принимать более 20 дБ в случае дифракции на одной кромке (тонкие барьеры) и 25 дБ в случае дифракции на двух кромках (толстые барьеры).

Затухание при наличии двух барьеров рассчитывают по формуле (10) как для дифракции на двух кромках в соответствии с нижним чертежом рисунка 5. Затухание при наличии более чем двух барьеров может быть приблизительно рассчитано также по формуле (10), если выбрать два наиболее эффективных барьеров и пренебречь влиянием остальных.



## 8 Снижение акустической эффективности $DL$

Если экран формой отличается от формы вертикального тонкого экрана-стенки (например, в случае шумозащитного вала или выемки), то экранирующий может быть снижен на величину  $DL$ , зависящую от внешнего угла  $\beta_s$  наклонных поверхностей (см. п.11.3.7 СП 276.1325800.2016):

$DL = 0$  при  $\beta_s = 270^\circ$ ;

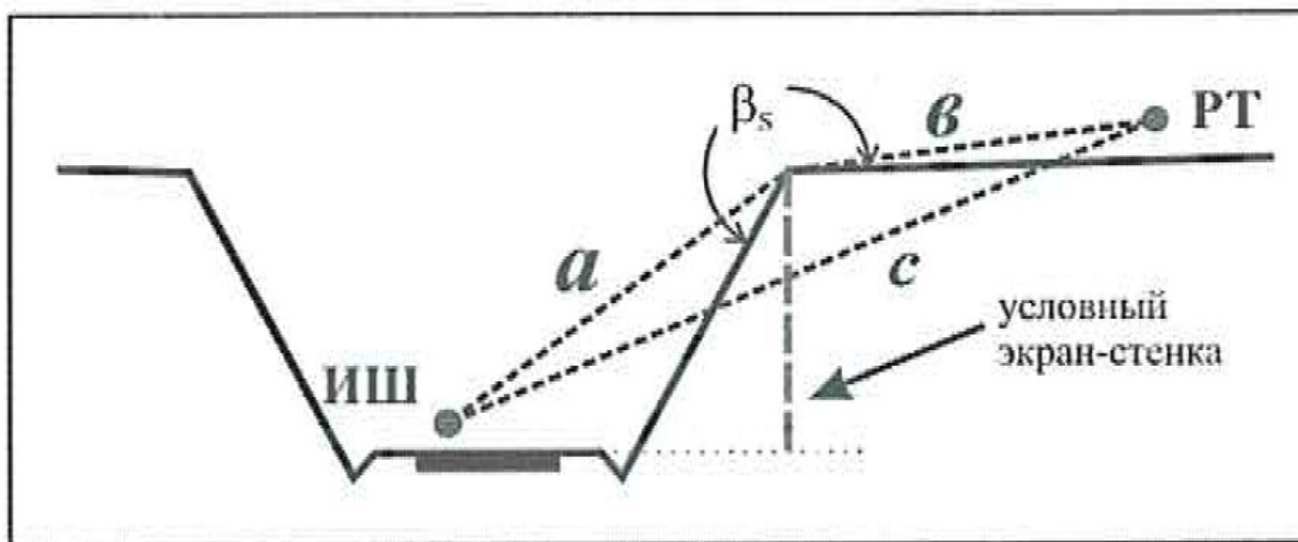
$DL = 1$  при  $\beta_s = 255^\circ$ ;

$DL = 3$  при  $\beta_s = 240^\circ$ ;

$DL = 5$  при  $\beta_s = 225^\circ$ ;

$DL = 6$  при  $\beta_s = 210^\circ$ .

Для других значений угла  $\beta_s$  величина  $DL$  находится линейной интерполяцией.



## 9 Дополнительные виды затухания $A_{misc}$

Член  $A_{misc}$  в формуле (2) характеризует затухание вследствие различных дополнительных эффектов затухания при распространении звука и определяется по формуле (16):

$$A_{misc} = A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (16)$$

где  $A_{fol}$  – затухание при распространении звука через листву;

$A_{site}$  – затухание при распространении звука в промышленных зонах;

$A_{hous}$  – затухание при распространении звука в жилых массивах.

## 10 Затухание в листве $A_{fol}$

Листва деревьев и кустарников влияет на затухание мало и только в случае, когда она плотная (не имеет просветов). Затухание может происходить вблизи источника шума или приемника, или в обоих случаях (рисунок 6). Траектория звука может быть представлена прямыми линиями на участках  $d_1$  и  $d_2$ , наклоненными к земле под углом  $15^\circ$ .

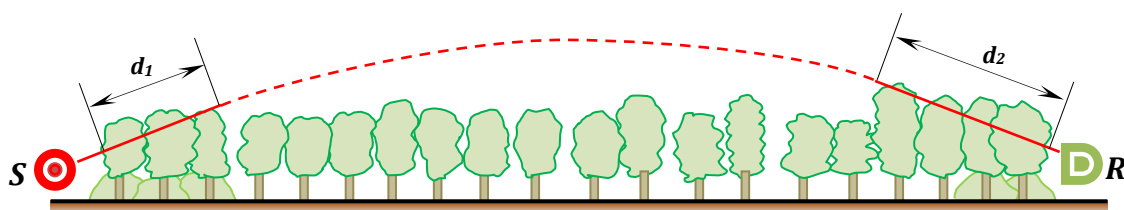


Рисунок 6 - Затухание при распространении звука через листву

Длина траектории звука через листву равна  $d_f = d_1 + d_2$ .

В первой строке таблицы 2 указано затухание в плотной листве, если общая длина траектории через листву равна от 10 до 20 м, во второй строке - от 20 до 200 м. Для траекторий, длина которых превышает 200 м, принимают, что затухание равно значению при длине 200 м.

Таблица 2 - Затухание в октавных полосах при распространении звука через плотную листву

Длина траектории распространения звука $d_f$ , м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$10 \leq d_f \leq 20$	Затухание, дБ								
	0	0	0	1	1	1	1	2	3
$20 \leq d_f \leq 200$	Затухание, дБ/м								
	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

## 11 Затухание в промышленных зонах $A_{site}$

В промышленных зонах затухание возникает вследствие рассеяния звука оборудованием (и другими объектами). Оно может быть учтено величиной  $A_{site}$ , если не включено в затухание на экранирующем препятствии  $A_{bar}$  или не указано в требованиях к шуму источника. Под оборудованием в настоящем приложении понимают различные трубы, клапаны, боксы, элементы конструкций и т.д.

Величина  $A_{site}$  сильно зависит от типа зоны, поэтому рекомендуется ее определять измерениями. Однако для оценки данного затухания может быть использована таблица 3.

Таблица 3 - Коэффициент затухания в октавных полосах частот при распространении звука в промышленных зонах

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	$A_{site}$ , дБ/м
31,5	0
63	0
125	0,015
250	0,025
500	0,025
1000	0,02
2000	0,02
4000	0,015
8000	0,015

Затухание пропорционально длине криволинейной траектории (рисунок 7) и максимально равно 10 дБ.

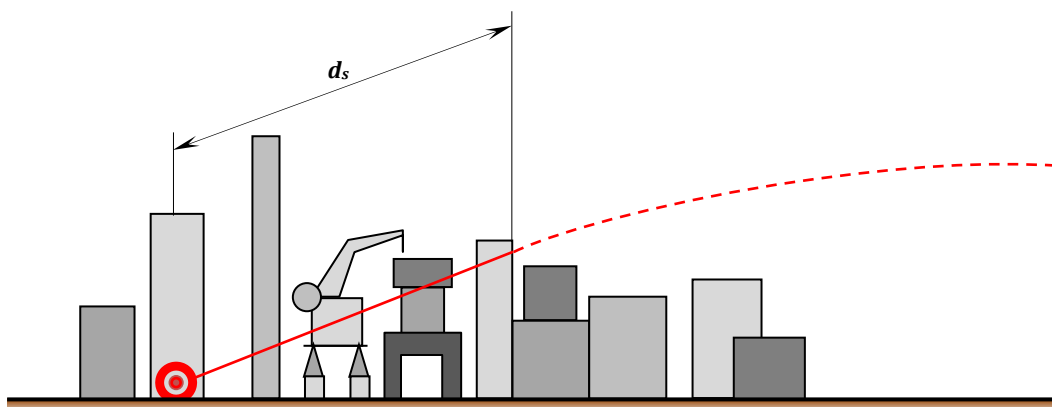


Рисунок 7 - Затухание при распространении звука в промышленной зоне с оборудованием

## 12 Затухание в жилых массивах $A_{hous}$

Если источник шума или приемник, или оба они расположены в жилом массиве, то возникает затухание из-за экранирования домами. Однако данный эффект может быть снижен за счет прохождения звука между домами и отражений его от других домов. Комбинационный эффект экранирования и отражения звука  $A_{hous}$  может быть рассчитан для каждой ситуации, по крайней мере в принципе, по правилам расчета затухания из-за экранирования и затухания из-за звукоотражения. Поскольку значение величины  $A_{hous}$  сильно зависит от ситуации, правильность расчета следует проверять практическими измерениями. Потому более полезно, особенно в случае многократных (многих) отражений, снижающих точность расчетов, выполнить измерения на месте или на моделях застройки.

Приблизительное затухание уровня звука  $A_{hous}$ , которое не должно превышать 10 дБ, может быть оценено по формуле (17):

$$A_{hous} = A_{hous,1} + A_{hous,2} \quad (17)$$

Среднее значение величины  $A_{hous,1}$  может быть рассчитано по формуле (18)

$$A_{hous,1} = 0,1 \cdot B \cdot d_b \quad (18)$$

где  $B$  - плотность застройки вдоль траектории распространения звука, равная отношению площади участков под домами к общей площади жилого массива, включая площадь участков под домами;

$d_b$  - длина траектории звука через просветы между домами, определенная аналогично рисунку 6, м.

Длина траектории  $d_b$  может включать в себя участок  $d_1$  вблизи источника шума и  $d_2$  вблизи приемника, как показано на рисунке 6.

Если вдоль автомобильной или железной дороги или иного подобного коридора имеется плотная рядная застройка, то может быть учтено дополнительное затухание  $A_{hous,2}$  (при условии, что оно менее вносимых потерь домами как экранами в той же точке, если высоту экрана принять равной средней высоте домов), рассчитываемое по формуле (19):

$$A_{hous,2} = 10 \cdot \lg[1 - (p/100)] \quad (18)$$

где  $p$  - отношение длины фасадов домов к длине автомобильной или железной дороги вдоль них ( $p \leq 90\%$ ).

Для жилых массивов величина  $A_{hous,1}$ , рассчитанная по формуле (17), и затухание из-за влияния земли  $A_{gr}$ , рассчитанное по формуле (7), связаны следующим образом.

Пусть  $A_{gr,b}$  - затухание из-за влияния земли в жилом массиве, а  $A_{gr,0}$  - затухание из-за влияния земли при отсутствии домов, т.е. рассчитанное по формуле (7). При распространении звука в жилом массиве в общем случае в формуле (2) принимают  $A_{gr,b} = 0$ . Однако если  $A_{gr,0}$  превышает  $A_{hous}$ , то затуханием  $A_{hous}$  пренебрегают, а в формулу (2) подставляют только  $A_{gr,0}$ .

Вышеописанная связь имеет различное значение в зависимости от плотности застройки  $B$ : для застройки с низкой плотностью доминирует затухание  $A_{gr}$ , с высокой плотностью -  $A_{hous}$ .

## 13 Звукоотражение

Звукоотражение моделируют введением зеркального изображения источника шума, рассматриваемого как мнимый источник. Оно имеет место при отражении звука от установленных под открытым небом навесов и от более или менее вертикальных поверхностей (например, отражение звука от фасадов зданий), что может быть причиной повышения уровней звукового давления на приемнике. Эффект отражения звука от земли в данном случае не рассматривают, так как он учтен при расчете  $A_{gr}$ .

Отражение звука от экрана рассчитывают для всех октавных полос частот, для которых выполнены следующие условия:

- зеркальное изображение источника построено как показано на рисунке 8;
- коэффициент звукоотражения от экрана более 0,2;
- звукоотражающая поверхность достаточно велика, чтобы для длины звуковой волны, соответствующей среднегеометрической частоте октавной полосы, было соблюдено соотношение (19)

Если хотя бы одно из данных условий не соблюдается для определенной октавной полосы частот, то звукоотражением в ней пренебрегают.

$$1/\lambda > [2/(l_{min} \cdot \cos \beta)^2] \cdot [d_{s,o} \cdot d_{o,r} / (d_{s,o} + d_{o,r})] \quad (19)$$

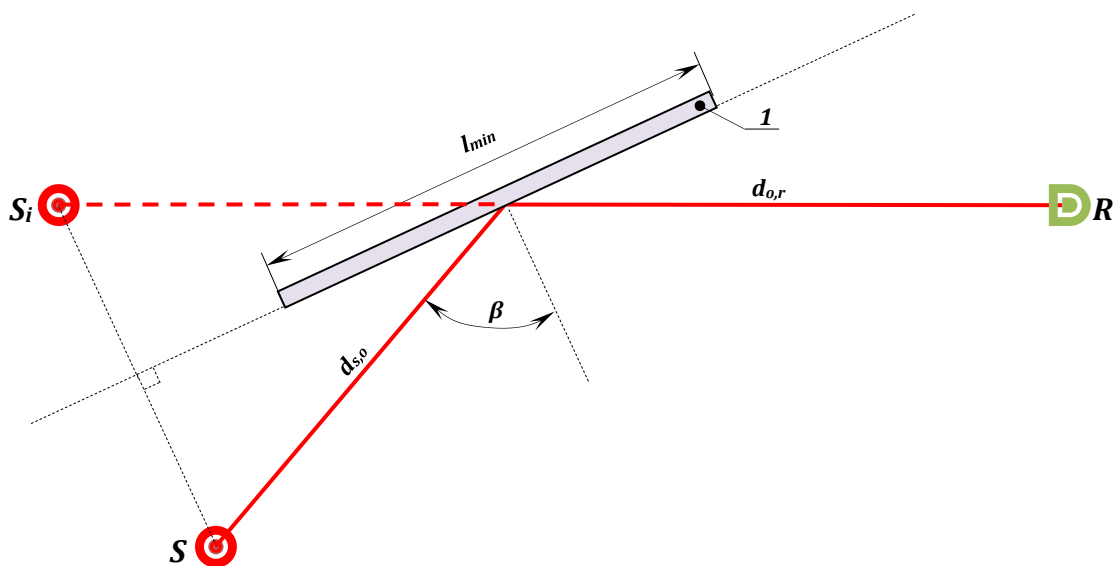
где  $\lambda$  - длина звуковой волны с частотой, равной среднегеометрической частоте  $f$ , Гц, октавной полосы  $\lambda = 340 / f$ , м;

$d_{s,o}$  - расстояние между точечным источником шума и точкой отражения на экране, м;

$d_{o,r}$  - расстояние между точкой отражения на экране и приемником, м;

$\beta$  - угол падения звуковой волны (рисунок 8), рад;

$l_{min}$  - минимальный размер (длина или высота) звукоотражающей плоскости (рисунок 8), м.



1 - экран;  $S$  - точечный источник шума;  $R$  - приемник;  $S_i$  - мнимый источник шума

Рисунок 8 - Зеркальное звукоотражение от экрана

Траектория распространения звука от источника шума  $S$  к приемнику  $R$  длиной  $d_{s,o} + d_{o,r}$  имеет угол падения звуковой волны на экран  $\beta$ , равный углу отражения. Отраженный звук может быть представлен исходящим из мнимого источника шума  $S_i$ .

Реальный и мнимый источники рассматривают отдельно. Уровень звуковой мощности мнимого источника, дБ, рассчитывают по формуле

$$L_{w,im} = L_w + 10 \cdot \lg(p) + D_{lr} \quad (20)$$

где  $p$  - коэффициент звукоотражения от поверхности экрана при угле падения звуковой волны  $\beta$  ( $p \leq 0,2$ );

$D_{lr}$  - показатель направленности мнимого точечного источника шума в направлении на приемник.

Для мнимого источника составляющие затухания в формуле (2) и величины  $p$  и  $D_{lr}$  в формуле (20) должны быть определены для пути распространения отраженного звука.

## 14 Проникающий шум

Формула (16) СП 254.1325800.2016 «Здания и территория. Правила проектирования защиты» (утверждён приказом Минстроя России от 17.08.2016 г. № 571/пр) позволяет определить октавный уровень звукового давления для расчётных точек, расположенных в помещении в зоне действия отражённого звука – эта формула приведена в настоящем руководстве в виде формулы (21):

$$L = L_w - 10 \cdot \lg(B/B_0) - 10 \cdot \lg(k) + 6 \quad (21)$$

где  $L_w$  – октавный уровень звуковой мощности, дБ;

$B$  – акустическая постоянная помещения, м<sup>2</sup>;

$B_0$  – опорное значение акустической постоянной,  $B_0 = 1$  м<sup>2</sup>;

$k$  – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в соразмерном помещении.

Формула (20) СП 254.1325800.2016 позволяет определить октавный уровень звукового давления для расчётных точек в изолируемом соразмерном помещении, проникающего через ограждающую конструкцию из соседнего помещения с источником (источниками) шума или с территории – эта формула приведена в настоящем руководстве в виде формулы (22):

$$L = L_{2м} - R + 10 \cdot \lg(S/S_0) - 10 \cdot \lg(B/B_0) - 10 \cdot \lg(k) + 6 \quad (22)$$

где  $L_{2м}$  – октавный уровень звукового давления на расстоянии 2 м от ограждающей конструкции через которую проникает шум, дБ;

$S$  – площадь ограждающей конструкции, через которую проникает шум, м<sup>2</sup>;

$S_0$  – опорное значение площади,  $S_0 = 1$  м<sup>2</sup>;

$R$  – изоляция шума в октавных полосах частот ограждающей конструкцией, дБ.

Из тождественности формул (21) и (22) следует возможность определить октавный уровень звуковой мощности замещающего точечного источника шума, расположенного в помещении, эквивалентного уровню звуковой мощности шума, проникающего в помещение через ограждающую конструкцию – это выражение приведено в формуле (23) настоящего руководства:

$$L_w = L_{2м} + 10 \cdot \lg(S/S_0) - R \quad (23)$$



Звукопередача воздушного шума осуществляется через ограждающие конструкции – звукоизолирующие сегменты.

Площадь ограждающей конструкции определяется по форме графической фигуры, соответствующей звукоизолирующему сегменту: для ломаной линии (стена) – это её длина (периметр), умноженная на высоту; для многоугольника (перекрытие) – его площадь.

При расчёте проникающего шума в базовом помещении (т. е. в помещении с источником шума) программой, перед сегментом звукоизоляции, автоматически размещается вспомогательная расчётная точка (ВРТ), а в смежном помещении – заменяющий источник шума (ЗИШ), который размещается после сегмента звукоизоляции. Если в базовом и смежных помещениях расположены самостоятельные источники шума, то схема расчёта будет симметрично отражена, относительно звукоизолирующего сегмента, при этом в качестве проникающего шума в заменяющих источниках будет учитываться только внешний шум, для избежания ошибок рекурсивного учёта шума. Под рекурсией здесь понимается ситуация, когда шум от одного источника из базового помещения проникает в смежное, потом обратно в базовое, далее опять в смежное и т. д.

Расстояния от плоскости сегмента звукоизоляции, на которых будут автоматически размещаться вспомогательная расчётная точка ( $d_{врт}$ , м) и заменяющий источник шума ( $d_{зиш}$ , м), указываются в справочнике «Конструкция ограждения». Для материала, заданного в справочнике «Конструкция ограждения» как «Основа», необходимо, чтобы был определён параметр звукоизоляции ( $R$ , дБ), для «Снаружи» и «Внутри» - ( $\Delta R$ , дБ). Для расчёта прямой звукопередачи воздушного шума порядок указания облицовки «Снаружи» или «Внутри» не влияет на результаты расчёта, т. к. общий коэффициент звукоизоляции определяется суммированием. Так же при прямой звукопередаче воздушного шума суммируются  $R+\Delta R$  для каждого из указанных в полях «Снаружи», «Основа», «Внутри» материалов.

Коэффициент диффузии звукового поля отражает разницу между уровнем звукового давления в ВРТ и интенсивности шума, перпендикулярно падающего на сегмент звукоизоляции. ( $C_{дв}$ , дБ) – коэффициент диффузии во внутреннем (базовом) помещении будет учтён при расчёте звуковой мощности ЗИШ с смежным помещением, а ( $C_{дс}$ , дБ) – коэффициент диффузии в помещении снаружи (смежном помещении), соответственно, будет учтён для ЗИШ, размещаемого в базовом помещении.

Расчётная формула при этом, в соответствии с пунктом 4.3 ГОСТ Р ЕН 12354-4-2012, примет вид (24):

$$L_w = L_{1-2,м} + 10 \cdot \lg(S/S_0) - R + Cd \quad (24)$$

где  $Cd$  – коэффициент диффузии звукового поля внутри помещения вблизи сегмента звукоизоляции, дБ.

Для шума, проникающего из помещения на территорию и с территории в помещение, необходимо указать только базовое помещение, а смежное оставить не заполненным (можно это поле очистить при выборе из справочника помещений или ввести «0»).

Расчёт шума, проникающего через сегменты звукоизоляции больших размеров, можно улучшить через выбор к поле «Стиль ЗИШ» стиля источника с предустановленным ограничением на предельный размер ( $R_{max}$ , м). Если наибольшие габариты плоскости сегмента звукоизоляции превысят ограничение по ( $R_{max}$ , м), то эта плоскость будет разделена на две плоскости, каждая со своей парой ВРТ-ЗИШ и т.д.

В соответствии с пунктом 4.2 ГОСТ Р ЕН 12354-4-2012 расстояние до ближайшей контрольной точки должно в два раза превышать наибольший размер сегмента – это условие определяет использованное в описании ограждающей конструкции величины ( $R_{max}$ , м).

## 15 Шум в помещении

Формула (16) СП 254.1325800.2016 «Здания и территория. Правила проектирования защиты» (утверждён приказом Минстроя России от 17.08.2016 г. № 571/пр) позволяет определить октавный уровень звукового давления для расчётных точек, расположенных в помещении в зоне действия отражённого звука – эта формула приведена в настоящем документе в виде формулы (21):

$$L = 10 \cdot \lg(\alpha_{np} \cdot 10^{0,1(L_w - L_{\text{экp}})} + \alpha_{omp} \cdot 10^{0,1L_w}) \quad (21)$$

где  $L_w$  – октавный уровень звуковой мощности, дБ;

$L_{\text{экp}}$  – снижение шума акустическими экранами, дБ;

$\alpha_{np}$  – коэффициент, описывающий вклад прямого звука в помещении;

$\alpha_{omp}$  – коэффициент, описывающий вклад отражённого звука в помещении.

На расстоянии граничного радиуса  $r_{zp}$   $\alpha_{np} = \alpha_{omp}$ . На расстоянии от источника шума  $r < 0,5 \cdot r_{zp}$  принимается  $\alpha_{omp} = 0$ . Соответственно от  $r_{zp}$  до  $0,5 \cdot r_{zp}$  величина  $\alpha_{omp}$  изменяется от своего изначального значения до 0. На расстоянии от источника шума  $r > 2 \cdot r_{zp}$  аналогично принимается  $\alpha_{np} = 0$ .

Для расчёта уровня отражённого звука в помещении определяющей акустической характеристикой исходных данных является величина  $\alpha_{cp}$  – средний коэффициент звукопоглощения в помещении.

При определении среднего коэффициента звукопоглощения в помещении  $\alpha_{cp}$  в октавных полосах частот  $> 1000$  Гц используется постоянная затухания в воздухе  $m$ . Для параметров температуры и влажности отличных от таблиц 4 СП 254.1325800.2016 величины постоянной затухания приняты как  $m = \alpha/4,34$  (где  $\alpha$  – коэффициент затухания в атмосфере по ГОСТ 31295.1-2005, далее по формуле 6.17 Е.Я.Юдин «Борьба с шумом на производстве», 1985).

В Справочнике проекта «Тип помещения» можно в явном виде указать значение среднего коэффициента звукопоглощения поверхностей в помещении  $\alpha_0$  с дифференцией величины по частотам. Если этого не сделать, то  $\alpha_0$  может быть рассчитан специфично характеристикам размещённых в данном помещении звукопоглотителей.

Если указать тип помещения, то элементы звукопоглощения, размещённые в помещении, не будут учтены в расчёте, что сделает расчёт менее специфичным, но позволит избежать грубых ошибок при описании типичных помещений. Упрощенный расчёт с заданием коэффициента звукопоглощения по типовым данным таблицы 3 СП 254.1325800.2016 допускается к применению.

Помещение графически представлено полигональной фигурой, параметр высоты которой определяет высоту помещения. Длина конверта ( $L, m$ ), в который вписана фигура помещения

используется в качестве величины  $D$  в расчётных формулах СП 254.1325800.2016, ширина конверта ( $B, м$ ), соответственно используется как величина  $G$  в формулах СП 254.1325800.2016, высота – это ( $H, м$ ).

Величины  $D, G, H$  используются для классификации рассматриваемого помещения по п. 5.3.2 СП 254.1325800.2016 по группам: соразмерное, плоское, длинное.

СП 271.1325800.2016 пунктом 8.2.1.2 определяет возможность расчёта постоянной помещения  $V, м^2$  в зависимости от типа помещения и его объёма.

Обратите внимание, что в данных таблицы 8.3 СП 271.1325800.2016 и таблицы 3 СП 254.1325800.2016 не приведены коэффициенты для частоты 31,5 Гц. Эти величины в случае необходимости нормирования шума на частоте 31,5 Гц можно приблизительно определить самостоятельно, например, методом интерполяции.

Если в выбранном из справочника типе помещения установлена отметка в поле « $\alpha_0$ », то в расчёте принимаются данные по таблице 3 СП 254.1325800.2016 и на характеристику звукопоглощения помещения не влияют геометрические размеры самого помещения.

Когда при выборе из справочника «Тип помещения» отметка в поле « $\alpha_0$ » снята, то в расчёте учитывается объём конверта помещения и в расчёте коэффициент  $\alpha_0$  увеличивается прямо пропорционально объёму (СП 271.1325800.2016 п.8.2.1.2).

Если в помещении не указать тип из справочника, а также не определить наличие звукопоглотителей и звукопоглощающих поверхностей, то для расчета по всем частотам будет использовано минимальное значение среднего коэффициента звукопоглощения поверхностей  $\alpha_0=0,01$ .

В случае расчёта помещения не с типовыми коэффициентами звукопоглощения необходимо оставить пустым поле «Тип помещения» или очистить в этом поле выбор из справочника. В качестве звукопоглощающих поверхностей необходимо указать акустические свойства и площади всех поверхностей элементов, расположенных в помещении, включая пол, потолок, стены. При этом объём звукопоглотителей, расположенных в помещении, в расчёте будет исключаться из общего объёма помещения.

## 16 Разработчик

ООО «ЭКОцентр»

Адрес: 394049, г. Воронеж, Рабочий пр., 101

Телефон/факс: (473) 250-22-50

Адрес электронной почты: [info@eco-c.ru](mailto:info@eco-c.ru)

Интернет сайт: [www.eco-c.ru](http://www.eco-c.ru)

## 17 Служба технической поддержки

Служба технической поддержки «ЭКОцентр» оказывает самый широкий спектр **услуг по сопровождению** продуктов серии «ЭКОцентр», и направлена на обеспечение стабильной и бесперебойной работы наших программных средств!

Мы предлагаем не только консалтинговые услуги и техническую поддержку, но также предоставляем **методические консультации** от ведущих специалистов-разработчиков природоохранной документации, что позволит максимально быстро и продуктивно овладеть всеми возможностями наших программных продуктов и подготовить профессиональный отчет с учетом всех предъявляемых требований.

Нахождение инженера службы на площадке клиента позволит **избежать** технических **проблем** в зависимости от информационной среды, особенностей конфигурации и технических возможностей аппаратных средств клиента, а также даст возможность наглядно ознакомиться с функциональными возможностями программных продуктов и получить **профессиональную консультацию** по любым интересующим вопросам.

Обратиться в Службу технической поддержки можно несколькими способами: по телефону/факсу (473) 250-22-50, по e-mail: [support@eco-c.ru](mailto:support@eco-c.ru), а также при помощи Web-сайта технической поддержки «ЭКОцентр».

Доступ к Web-сайту технической поддержки дает возможность подать и проконтролировать заявку, получить информацию о ходе выполнения, а также о сроках исполнения заявки, или получить сведения о необходимости внесения исправлений в программное обеспечение.

Более подробную информацию о предоставлении услуг по **технической поддержке**, а также о стоимости отдельных типов лицензий, можно узнать на сайте [www.eco-c.ru](http://www.eco-c.ru).