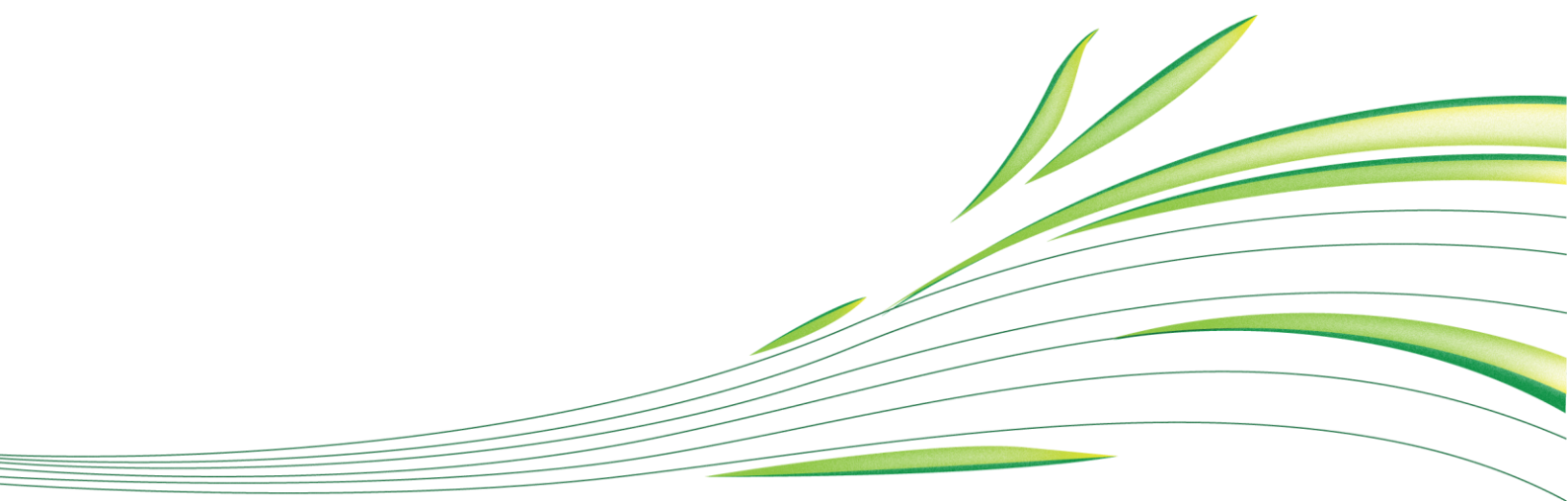


Высокие технологии в экологическом проектировании



Шум. Расчётная модель

Руководство пользователя
(ред. 19.09.2019)



www.eco-c.ru

© ООО «ЭКОцентр», 2008—2019



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
5. ISO TR 17534-3:2015 Акустика. Программное обеспечение для расчета внешнего шума. Часть 3. Рекомендации к обеспечению качества внедрения стандарта ISO 9613-2 в программное обеспечение в соответствии со стандартом ISO 17534-1

СОДЕРЖАНИЕ

Нормативное обоснование	4
Основные формулы.....	7
Затухание из-за геометрической дивергенции A_{div}	8
Затухание из-за звукопоглощения атмосферой A_{atm}	8
Затухание из-за влияния земли A_{gr}	9
Затухание из-за барьеров A_{bar}	11
Дополнительные виды затухания A_{misc}	15
Затухание в листве A_{fol}	16
Затухание в промышленных зонах A_{site}	17
Затухание в жилых массивах A_{hous}	18
Звукоотражение.....	19
Разработчик	21
Служба технической поддержки	21

Нормативное обоснование

СП 51.13330.2011 «СНиП 23-03-2003. 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. Изменение №1 к СП 51.13330.2011 «СНиП 23-03-2003. Защита от шума»** утверждено и введено в действие (с 06.11.2017 г.) приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 5 мая 2017 г. №770/пр.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» – СП 51.13330.2011 «СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» Разделы 1, 4 (пункты 4.2 - 4.5), 5, 6 (пункты 6.1, 6.3), 7, 8, 9 (пункты 9.1 - 9.6, 9.17 - 9.21), 10 (пункты 10.1, 10.3 - 10.16), 11 (пункты 11.1 - 11.21, 11.26), 12. разделы 4-13 СНиП 23-03-2003 входят в перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

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

Точность расчётов, устанавливаемая стандартом ISO TR 17534-3:2015 «Акустика. Программное обеспечение для расчета внешнего шума. Часть 3. Рекомендации к обеспечению качества внедрения стандарта ISO 9613-2 в программное обеспечение в соответствии со стандартом ISO 17534-1» составляет $\pm 0,05$ дБ. При выполнении расчётов по данному стандарту необходимо в Настройках точности округления программы ШУМ «ЭКОцентр» применить в настройке «Уровень звука, дБ(дБА)» параметр «Количество десятичных знаков» равный 2.

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).

Пунктом 12.5 СП 51.13330.2011 установлены следующие требования к выбору расчётных точек в зависимости от защищаемого от шума объекта и с учетом следующих указаний:

- 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;

- 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. Если расчетная точка на указанной высоте экранируется каким-либо объектом, ее высоту следует выбирать на высоте середины окна того этажа, который находится в прямой видимости от источников шума, а также следует рассматривать расчетную точку на высоте середины окна верхнего этажа здания.

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. Применяется с учётом поправок, опубликованных в ИУС N 8, 2007 год; ИУС N 7, 2015 год.

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).

Линейный источник представляется в программе ШУМ «ЭКОцентр» как точечные источники указанной мощности автоматически размещаемые на каждый 1 м длины линейного источника.

Площадной источник представляется в программе ШУМ «ЭКОцентр» как точечные источники указанной мощности автоматически размещаемые на каждый 1 м² площади площадного источника.

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 скользящем 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.

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_Ω , вводимой при распространении звука в пределах телесного угла Ω менее 4π 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:

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

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).

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 α - коэффициент затухания звука в октавной полосе частот в атмосфере.

Значения α 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 α в атмосфере усредняют по погодным условиям данной местности. Значение α принимаются, по умолчанию, при следующих погодных условиях: температура воздуха 20°C; относительная влажность 70%; атмосферное давление 101,325 кПа.

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.

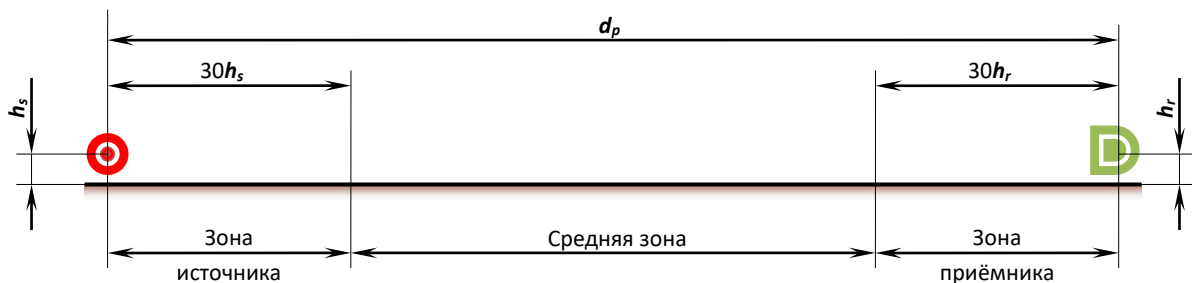


Рисунок 1 - Три основные зоны при определении затухания из-за влияния земли

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 твёрдой поверхностью. Для твёрдой 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 твёрдые 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 $d_p > (30h_s + 30h_r)$

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

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

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

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

Затухание из-за барьеров A_{bar}

Объект считают барьером или экранирующим препятствием, если:

- поверхностная плотность его не менее 10 кг/м² ;
- 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 λ с частотой, равной среднегеометрической частоте октавной полосы, т.е. $l_s + l_r > \lambda$ (рисунок 2).

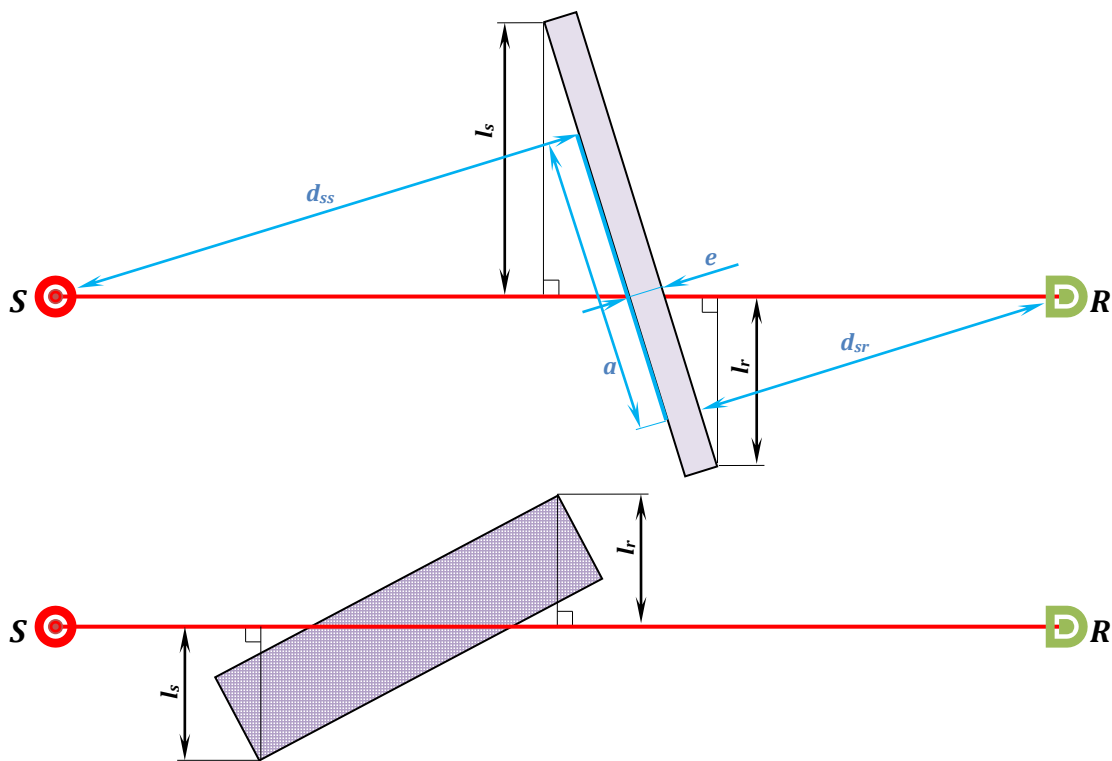


Рисунок 2 - Вид сверху на два барьера между источником шума S и приемником R

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).

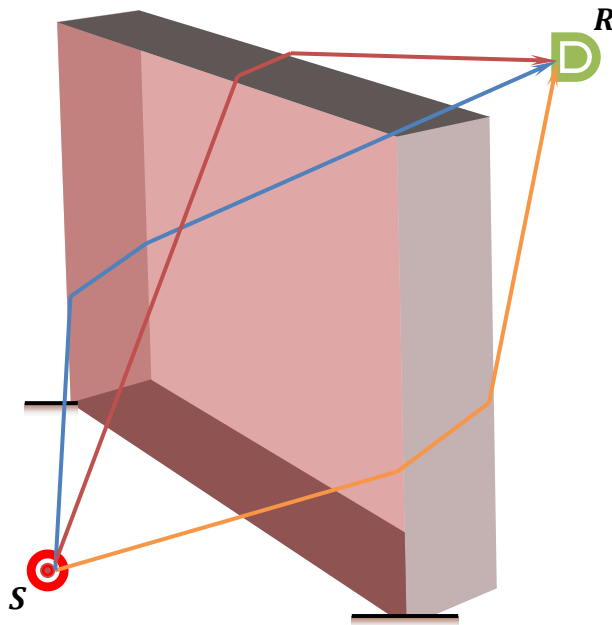


Рисунок 3 - Различные пути распространения звука вокруг экранирующего препятствия

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. Дополнительные разъяснения по специфике расчёта разных путей распространения звука приведены в стандарте ISO TR 17534-3:2015. В частности п. 5.2 ISO TR 17534-3:2015 устанавливается, что если протяженность

альтернативного пути распространения звука превышает протяженность основного пути, то альтернативный путь должен быть игнорирован в расчётах. В п. 5.6 ISO TR 17534-3:2015 приводится формула энергетического суммирования вкладов 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 λ - длина звуковой волны с частотой, равной среднегеометрической частоте октавной полосы, м;

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

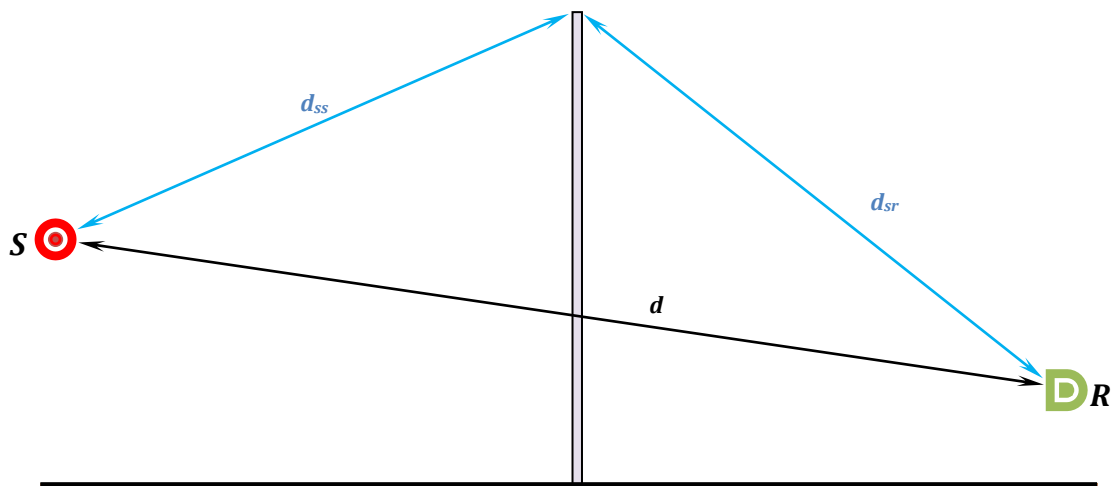


Рисунок 4 - Геометрические величины для определения разности длин путей распространения звука при дифракции на одной кромке

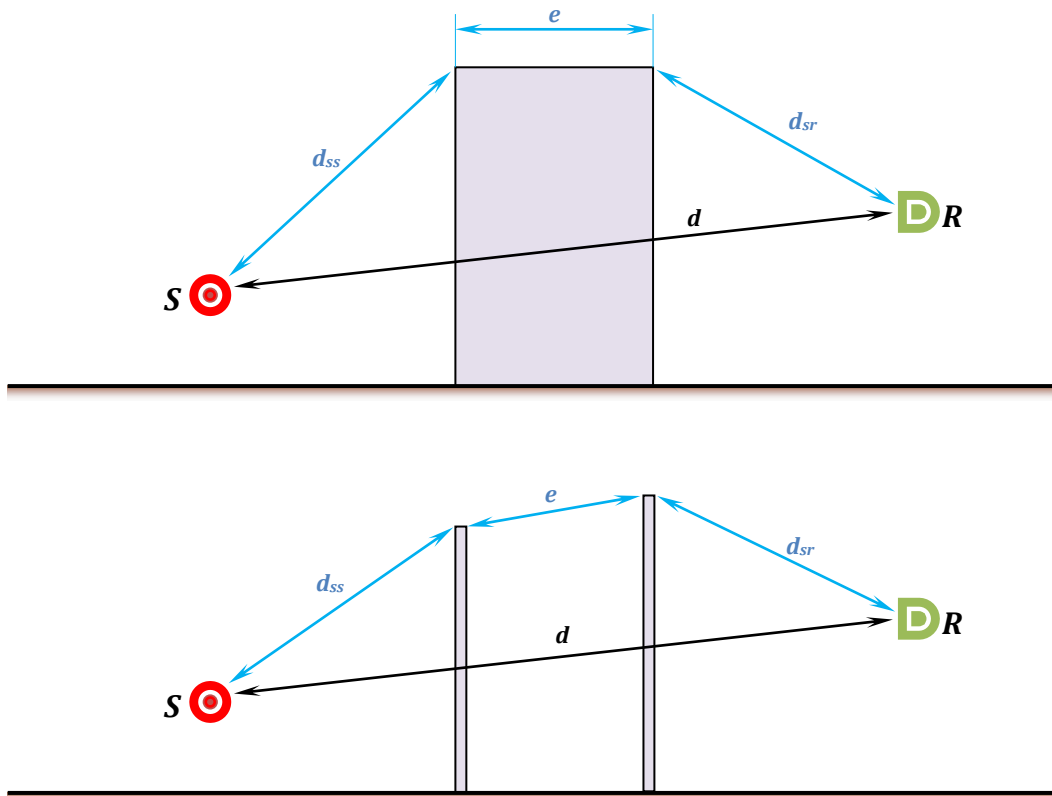


Рисунок 5 - Геометрические величины для определения разности длин путей распространения звука при дифракции на двух кромках

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.

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.

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° .

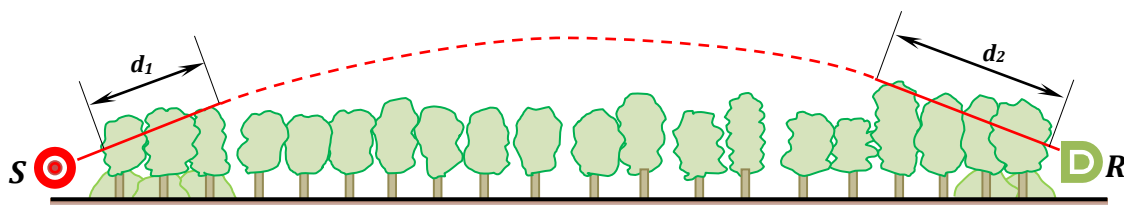


Рисунок 6 - Затухание при распространении звука через листву

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

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.

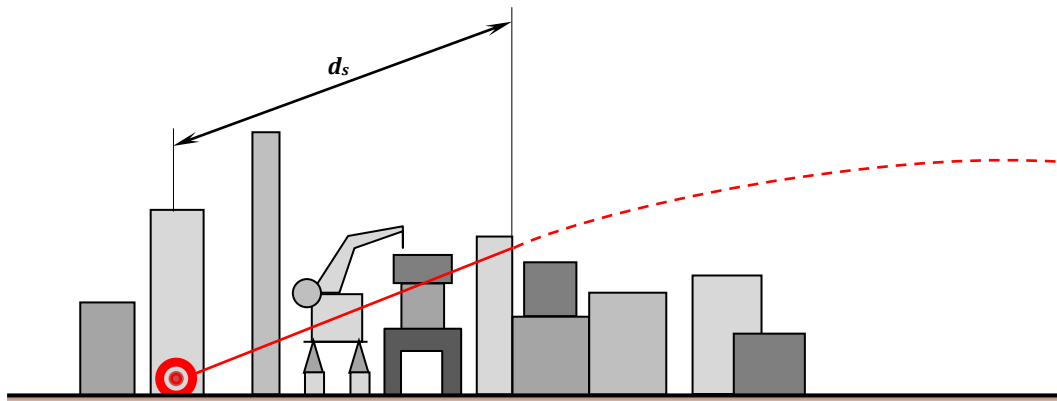


Рисунок 7 - Затухание при распространении звука в промышленной зоне с оборудованием

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 ($p \leq 90\%$).

ВНИМАНИЕ! Учет затухания по формуле 18 приводит не к снижению, а к увеличению значения в результате, т.к. при любых допустимых значениях отношения длин фасадов домов к длине автомобильной или железной дороги вдоль них результат расчёта дополнительного затухания $A_{hous,2}$ будет отрицательный!

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} .

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.

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

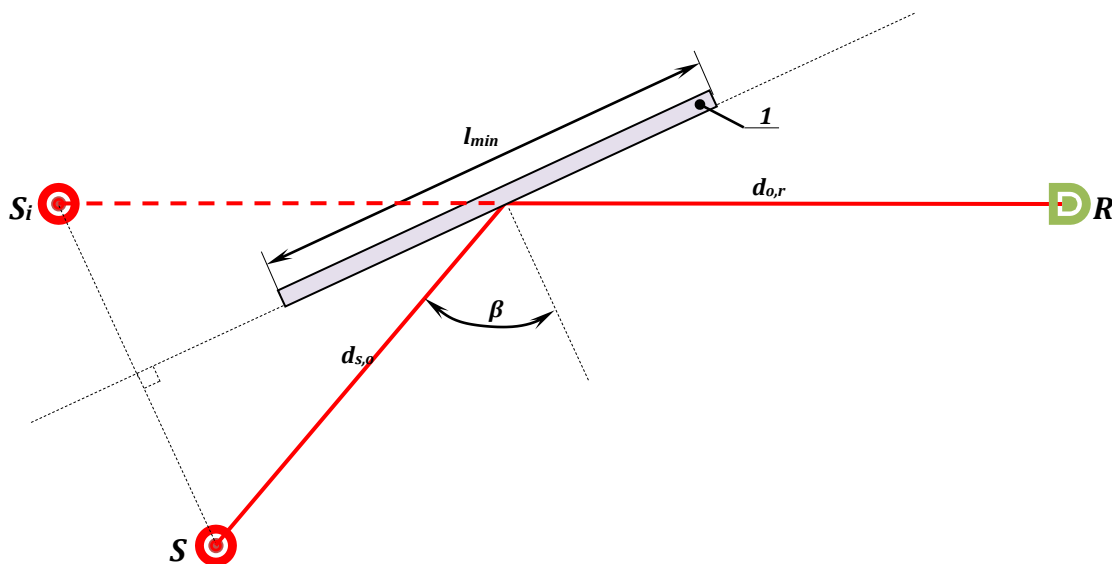
где λ - длина звуковой волны с частотой, равной среднегеометрической частоте f , Гц, октавной полосы $\lambda = 340 / f$, м;

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

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

β - 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 β , 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

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

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

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

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

Разработчик

ООО «ЭКОцентр»

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

Телефон/факс: (473) 250-22-50

Адрес электронной почты: info@eco-c.ru

Интернет сайт: www.eco-c.ru

Служба технической поддержки

Служба технической поддержки «ЭКО центр» оказывает самый широкий спектр **услуг по сопровождению** продуктов серии «ЭКО центр», 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, а также при помощи Web-сайта технической поддержки «ЭКО центр».

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.