

РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА ОТ ЛИНЕЙНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

© 2012 Н.Н. Минина

Институт комплексного транспортного проектирования, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 29.09.2011

Предложены расчетные схемы основных видов искусственных транспортных сооружений, показывающие распространение звука линейным источником в пространство и полупространство с расположением источника шума на плоскости, эстакаде, в выемке и за насыпью при наличии и отсутствии акустических экранов. Предложены формулы расчетов распространения звука. Выполнен расчет, показаны сравнительные значения уровней звукового давления при прохождении звука через различные сооружения.

Ключевые слова: транспортные линейные сооружения, эстакада, выемка, насыпь, акустический экран, расчетные схемы, формулы расчета, окружающая среда, сравнительный анализ.

Автомобильные и железные дороги – источники повышенного шума в окружающей среде. Шум этих транспортных систем на стандартном расстоянии (7,5 м. для автотранспортных потоков и 25 м, для поездов) достигает 85 дБА. Эти транспортные системы приняты линейными излучателями, излучающими цилиндрическую звуковую волну, особенностью которой снижение уровней звука (УЗ, дБА) и уровней звукового давления (УЗД, дБ) снижение всего на 3 дБ (дБА) при удвоении расстояния. В связи с этой особенностью шум от транспорта превышает допустимые нормы (55 дБА в дневное время, например, для жилой застройки) на расстоянии до 500-800 м.

Процесс снижения УЗД и УЗ с расстоянием происходит за счет расширения фронта звуковой волны и носит название дивергенции звука. Этот процесс хорошо изучен для условий свободного звукового поля, когда звук распространяется без препятствий над плоскостью (в свободном звуковом поле). Расчет распространения звука при наличии линейных сооружений (эстакады, выемки, насыпи и др.) вызывает затруднения. Разработаны расчетные схемы и предположены формулы расчета распространения звука от линейных искусственных сооружений (табл. 1).

Самая простая схема №1 распространения – линейный источник в свободном звуковом поле, излучение происходит в полупространство. Снижение шума определяется геометрическим расхождением звуковой волны с увеличением расстояния; отметим здесь процесс поглощения звука мягкой поверхностью со звукопоглощением или отражения при наличии жесткой отражающей поверхности. В качестве линейного источ-

*Минина Наталья Николаевна, директор.
E-mail: nnt_71@mail.ru*

ника звука рассматривается транспортный поток или несколько строительных механизмов и машин, расположенных вдоль строящейся автомобильной дороги.

Несколько более сложный случай (схема №2) – расположение линейного источника звука на эстакаде или насыпи на краю ближнему по отношению к защищаемому объекту (это характерно для первой полосы движения автотранспорта на эстакаде). Отличие процессов распространения звука заключается в отсутствии (при достаточно большой высоте), процессов поглощения звука поверхностью между эстакадой и защищаемым объектом; излучение звука происходит в пространство.

Отличие схемы №3 от предыдущей – наличие эффекта дополнительного отражения звука от поверхности дороги, если источник шума расположен вдали от края эстакады (насыпи), а также наличие ярко выраженного экранирующего эффекта этой частью дороги, т.е. создание дополнительно эффекта шумоглушения за счет конструктивных элементов дороги.

В схеме №4 на краю эстакады установлен акустический экран (АЭ), за которым создается зона акустической тени. Особенность заключается в том, что угол дифракции такого АЭ больше, чем при его расположении на одной поверхности с защищаемым объектом.

Схема №5 описывает распространение звука от линейного источника, расположенного в выемке. Дополнительное затухание звука создается за счет звукопоглощения склоном выемки и за счет создаваемого склоном выемки экранирующего эффекта.

В схеме №6 дополнительное снижение шума за счет установленного на вершине выемки АЭ, который создает зону акустической тени.

Таблица 1. Расчет распространения звука от линейных и плоских источников

№ п/п	Наименование расчетной схемы	Расчетная схема	Обозначения на схеме	Формула расчета
1	Распространение звука от линейного источника в свободном звуковом поле		4 1 – ИШ, 2 – РТ, 3 – здание, 4 – подстилающая (опорная) поверхность	$L_{PT} = L_{7,5(15)} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l}{2R} + 10 \lg(1 - \alpha_{\text{ное}}) - 10 \lg \frac{R}{r_0}, \text{ дБ}$
2	Распространение звука от линейного ИШ на краю эстакады		1 – ИШ, 2 – РТ, 3 – здание, 4 – поверхность, 5 – эстакада	$L_{PT} = L_{7,5} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_s}{2\sqrt{R_s^2 + h_s^2}} - 10 \lg \frac{R_s}{r_0} - 3, \text{ дБ}$
3	Распространение звука от линейного ИШ на удалении от края эстакады		1 – ИШ, 2 – РТ, 3 – здание, 4 – поверхность, 5 – эстакада, 6 – отражающая экранирующая поверхность	$L_{PT} = L_{7,5} + 10 \lg(1 - \alpha_c) + 10 \lg \frac{l_s}{g_s} - 10 \lg \frac{\sqrt{R_s^2 + h_s^2}}{r_0} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_s}{2g_s} + 10 \lg \beta_{\text{эфф}} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_s}{2\sqrt{R_s^2 + h_s^2}} - 5, \text{ дБ}$
4	Распространение звука от линейного ИШ при установке АЭ на эстакаде		1 – источник шума (ИШ), 2 – эстакада, 3 – АЭ, 4 – защищаемый объект (4' – т.ж. при расположении ИШ и защищаемого объекта на одной поверхности 6'), 5 – расчетная точка (5' – т.ж. при расположении ИШ и защищаемого объекта на одной поверхности 6'), 6 – поверхность на которой расположена эстакада и защищаемый объект, 6' – поверхность на которой расположен ИШ и защищаемый объект. θ_1 – угол дифракции АЭ при установке ИШ, АЭ и защищаемого объекта на одной поверхности 6', θ_2 – угол дифракции при установке АЭ на эстакаде.	$L_{PT} = L_{7,5} + 10 \lg(1 - \alpha_{\text{эф}}) + 10 \lg \beta_{\text{эфф}} + 10 \lg \frac{\lambda}{h_{\text{эф}} + h_s \sin(\theta_2 - \theta_1)} - 10 \lg \frac{\lambda}{r_0 \sqrt{(h_{\text{эф}} + h_s)^2 + R_s^2}} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_s}{2h_{\text{эф}}} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_s}{\sqrt{(h_{\text{эф}} + h_s)^2 + R_s^2}} - 5, \text{ дБ}$
5	Распространение звука от линейного ИШ за выемкой		1 – ИШ, 2 – РТ, 3 – здание, 4 – поверхность, 5 – выемка, 2', 3' – РТ и здание на одной поверхности с ИШ, 4' – условная поверхность, на которой располагается ИШ, θ_1 – угол дифракции выемки, θ_2 – угол дифракции АЭ, а) – здание расположено за выемкой, б) – здание расположено на одной плоскости с ИШ.	$L_{PT} = L_{7,5} + 10 \lg(1 - \alpha_e) + 10 \lg \beta_{\text{эфф}} + 10 \lg \frac{\lambda}{R_{\text{эф}}} - 10 \lg \frac{R_e}{r_0} - 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_s}{2b} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_s}{2R_{\text{эф}}} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_s}{2R_e} - 7, \text{ дБ}$

Таблица 1. Расчет распространения звука от линейных и плоских источников (окончание)

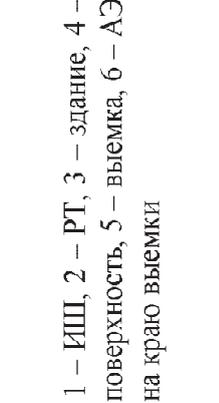
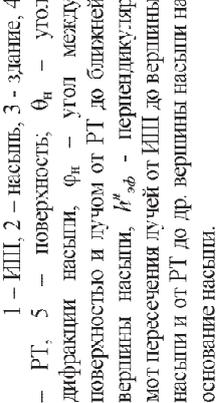
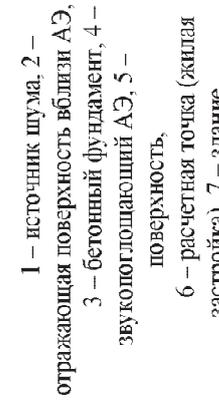
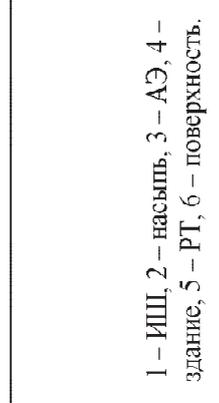
2	3	4	5
<p>6</p> <p>Распространение звука от линейного ИШ за АЭ установленный на краю выемки</p>		<p>1 – ИШ, 2 – РТ, 3 – здание, 4 – поверхность, 5 – выемка, 6 – АЭ на краю выемки</p>	$L_{PT} = L_{\gamma,5} + 10 \lg(1 - \alpha) + 10 \lg \frac{\lambda}{h_{сп}^{эф}(\epsilon)} + 10 \lg \beta_{эф}^{эф} - 10 \lg \frac{R^e}{r_0} + 10 \lg \arctg \frac{l_{эф}^e}{2h_{эф}^{эф}(\epsilon)} + 10 \lg \arctg \frac{l_{эф}^e}{2R_{эф}} - 5$
<p>7</p> <p>Распространение звука от линейного ИШ за насыпь</p>		<p>1 – ИШ, 2 – насыпь, 3 – здание, 4 – РТ, 5 – поверхность, θ_n – угол дифракции насыпи, θ_n – угол между поверхностью и лучом от РТ до ближней вершины насыпи, $h_{эф}^n$ – перпендикуляр от пересечения лучей от ИШ до вершины насыпи и от РТ до др. вершины насыпи на основание насыпи.</p>	$L_{PT} = L_{\gamma,5} + 10 \lg(1 - \alpha_n) + 20 \lg \beta_{эф}^n + 10 \lg \frac{\lambda}{h_{эф}^n} - 10 \lg \frac{R_n}{\epsilon_0} - 10 \lg \frac{R_n}{r_0} + 10 \lg \arctg \frac{l_n}{2h_{эф}^n} + 10 \lg \arctg \frac{l_n}{2\epsilon_0} + 10 \lg \frac{l_n}{2R_n} - 7$
<p>9</p> <p>Распространение звука от линейного ИШ за комбинированный АЭ в свободном звуковом поле</p>		<p>1 – источник шума, 2 – отражающая поверхность вблизи АЭ, 3 – бетонный фундамент, 4 – звукопоглощающий АЭ, 5 – поверхность, 6 – расчетная точка (жилая застройка), 7 – здание.</p>	$L_{PT} = L_{\gamma,5} + 10 \lg(1 - \alpha_{эф}) + 10 \lg \frac{S_{эф} - A_{эф}}{S_{эф}} - 10 \lg \frac{R_{эф}}{\lambda} - 10 \lg \frac{R_{эф}}{r_0} + 10 \lg \beta_{эф}^{эф} + 10 \lg \arctg \frac{l_{эф}}{2h_{эф}} + 10 \lg \frac{l_{эф}}{2R_{эф}} - 5$
<p>10</p> <p>Распространение звука от линейного ИШ за насыпь с установленным на краю АЭ</p>		<p>1 – ИШ, 2 – насыпь, 3 – АЭ, 4 – здание, 5 – РТ, 6 – поверхность.</p>	$L_{PT} = L_{\gamma,5} + 10 \lg(1 - \alpha_n) + 10 \lg(1 - \alpha_{эф}) + 10 \lg \frac{\lambda}{h_{эф}^{эф}(\epsilon)} - 10 \lg \frac{h_{эф}^n}{h_0} - 10 \lg \frac{R_n}{\epsilon_0} + 10 \lg \arctg \frac{l_n}{2h_{эф}^n} + 10 \lg \arctg \frac{l_n}{2\epsilon_0} + 10 \lg \arctg \frac{l_n}{2R_n} + 10 \lg \arctg \frac{l_{эф}}{2R_{эф}} - 6 \text{ дБ}$

Таблица 2. Значение коэффициента дифракции для искусственных сооружений

Наименование искусственного сооружения	Схема	Коэффициент дифракции, $\beta_{дифр.}$	Значение $10 \lg \beta_{дифр.}$, дБ
Выемка, эстакада		$\frac{1}{\pi}$	-5
Акустический экран		$\frac{1}{2\pi}$	-8
Насыпь		$\frac{1}{\pi}$ (двойная дифракция)	$20 \lg \frac{1}{\pi} = -10$

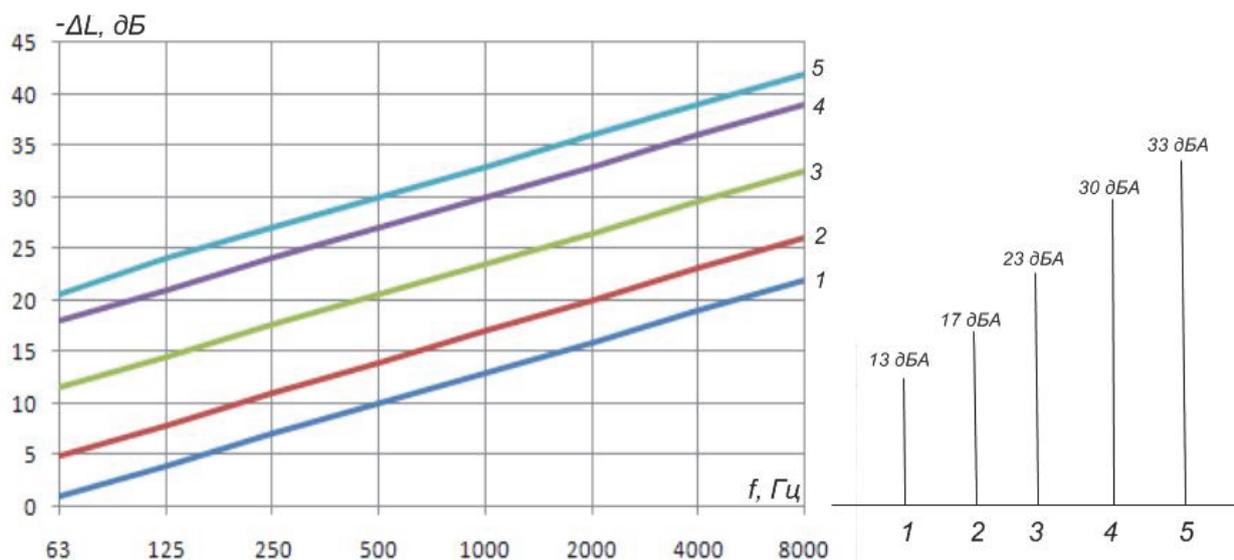


Рис. 1. Сравнительное снижение УЗД в РТ различными искусственными сооружениями: 1 – выемка (схема 5), 2 – эстакада (схема 3), 3 – АЭ, установленный на эстакаде (схема 4), 4 – насыпь (схема 7), 5 – АЭ, установленный на насыпи (схема 10)

В схеме №7 эффект снижения шума создается затуханием звука за счет звукопоглощения склоном насыпи и ее верхней части, а также экранирующего ее действия созданием акустической тени за насыпью путем двойной дифракции.

Схема №8 описывает распространение звука за АЭ, установленном на одной плоскости с защищаемым объектом в свободном звуковом поле.

Схема №9 описывает распространение звука за насыпь с установленным на ее краю АЭ. В этой схеме возможны 2 варианта: АЭ установлен на краю насыпи со стороны ИШ и АЭ установлен на противоположном краю насыпи. В пер-

вом случае свойство насыпи не используется в полной мере и система “насыпь – АЭ” работает как “выемка – АЭ”. Во втором случае затухание звука на поверхности насыпи используется в полной мере, и также имеется эффект двойной дифракции.

Для всех рассматриваемых расчетных схем были получены формулы, в которых:

$L_{7,5(15)}$ – УЗД (УЗ), измеренные на стандартном (r_0) расстоянии от источника (7,5, 15 м. и др.), дБ, дБА;

$\alpha_{нов}(\alpha_д)$ – коэффициент звукопоглощения поверхности близрасположенной к ИШ;

l – длина линейного источника, м;
 λ – длина звуковой волны, м;
 $\beta_{\text{дифр}}$ – коэффициент дифракции искусственного сооружения (ИС) (табл. 2);
 $\alpha_{\text{экр}}$ – коэффициент звукопоглощения акустического экрана;
 $h_{\text{эф}}$ – эффективная высота ИС;
 $\alpha_o(\alpha_n)$ – коэффициент звукопоглощения выемками (насыпями);

Были выполнены расчеты снижения шума различными искусственными сооружениями. Расчеты выполнялись, по возможности, с одинаковыми параметрами (высота, длина), акустическими характеристиками (коэффициент звукопоглощения) и расположением (расстояние) искусственных сооружений (ИС). Данные расчета (сравнительные характеристики снижения шума основными ИС) показаны на рис. 1.

Наименьшее снижение (примем по частоте 1000 Гц) порядка 17 дБ достигается выемкой и использованием расстояния от источника до края эстакады. Применением АЭ на плоскости снижение УЗД дополнительно составляет 5 дБ (до 22 дБ). Применение АЭ на

краю выемки или эстакады дает снижение около 23-24 дБ. Существенный эффект (до 27 дБ) достигнут при снижении шума насыпью. Теоретические зависимости снижения УЗД при использовании не имеют частотнозависимый характер, разница снижения УЗД различными ИС достигает не менее 10 дБ. АЭ, установленный на противоположном источнику краю насыпи дает самое большое снижение УЗД. Этот случай позволяет использовать все возможные преимущества шумозащиты: высота, звукопоглощение, ширина насыпи и др. Эффективность такой конструкции очень высока и достигает 37 дБ на частоте 1000 Гц, что более чем на 10 дБ более эффективно, чем насыпи без АЭ. Отметим, что разница в эффективности ИС достигает 20 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов Н.И.* Инженерная акустика: Теория и практика борьбы с шумом: учебник. М.: Университетская книга, Логос, 2008. 424с.
2. *Malcolm J. Crocker.* Handbook of Noise and Vibration control, John Wiley & Sons, Inc. 2007, 1569p.

CALCULATION OF THE TRANSMISSION OF SOUND BY LINEAR TRANSPORT FACILITIES IN THE ENVIRONMENT

© 2012 N.N. Minina

Comprehensive Transport Design Institute, St. Petersburg

Calculation schemes are proposed for major artificial transportation facilities, presenting a linear source of sound propagation in open space and semi sphere half with the location of the noise source on the plane, overpass, in the cutting and over the embankment of the presence and at the absence of acoustic barriers. Formulas for calculating sound propagation of are proposed. Calculation showing comparative values of sound pressure levels during propagation of sound through various structures is executed. Key words: linear transportation facilities, overpass, cutting, embankment, noise barriers, design diagrams, formulas, environment, comparative analysis.