РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И СТРОЙПЛОЩАДОК

© 2010 Н.И. Иванов, Н.Н. Минина

Балтийский государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 14.12.2010

Разработаны математические модели расчетов снижения шума от линейных источников, учитывающие длину источника шума, расстояние от источника шума до расчетной точки, звукопоглощающие свойства поверхности. Расчеты выполняются для различных условий расположения автотранспортных потоков и стройплощадок: на плоскости, на насыпи (или эстакаде), в выемке и др. В предложенных формулах учтено расположение источника в пространстве, а также высота выемки, насыпи или эстакады; дифрагирующие свойства пространственных сооружений. Получены выражения для определения эффективности акустических экранов при их расположении на краю выемки, эстакады, насыпи. Выполнены экспериментальные исследования, которые подтвердили приемлемую точность предложенных формул расчета.

Ключевые слова: шум, расчет, снижение, акустические экраны

1. ВВЕДЕНИЕ

Расчет шума стройплощадок ведется в предположении, что каждый объект является точечным источником шума, излучающим сферическую звуковую волну. Выполненными исследованиями [1] был доказан сложный характер излучения звука стройплощадками. С учетом переотражения звуковых волн от строительных машин и механизмов стройплощадка может рассматриваться как линейный источник звука, излучающий цилиндрическую звуковую волну. Рассмотрение транспортных потоков как линейных источников является общепринятым, но, зачастую, вызывает затруднение расчет излучения звука от этих источников при наличии таких искусственных сооружений как выемки, насыпи, эстакады.

Для выполнения расчётов транспортные потоки и строительные площадки приняты линейными источниками, излучающими цилиндрические звуковые волны. Источники считаются излучающими в полупространство. При расположении этих источников на насыпи или эстакаде принято считать излучение в пространство, если высота насыпи (эстакады) превышает 3 м. Расстояния (*R*), на которых цилиндрическая волна переходит в сферическую при длине ис-

точника звука l, приняты из условия $R \geq \frac{l}{\pi}$.

Николай Игоревич Иванов, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности Наталья Николаевна Минина, кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности. E-mail: noise@mail.rcom.ru

2. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ И ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА

Были разработаны расчётные схемы, отображающие основные реальные ситуации и формулы для расчета шума автотранспорта и стройплощадок (табл. 1). Самая простая схема распространения (схема №1) – линейный источник звука в свободном звуковом поле, излучение звука 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 источника 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 к 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; излучения звука происходит в пространство.

Отличие схемы №3 от предыдущей — наличие эффекта дополнительного отражения звука о поверхность дороги, если источник шума расположен не вблизи края эстакады (насыпи), а также наличие ярко выраженного экранирующе-

Таблица 1.Основные расчетные схемы

Расчетнем формула 5	$L_{pos} = L_{7.5} + 10 \lg avctg \frac{t}{2R} -$ $-10 \lg(1 - \alpha_{sec}) - 10 \lg \frac{R}{t_0}, \partial E,$ где $L_{7.5} - \mathrm{V3}\mathrm{J}$ на расстояния 7.5 м от оси движения, $R_0 - 7.5$ м, $t - 3.1$ нейногу ИШ, м; $R - \mathrm{расстояние}$ от ИШ до РТ, м; $\alpha_{sec} - \mathrm{кoo} \varphi \varphi$ и дент звуконовнонения новерхности.	$h_{per} = L_{TS} - 10 \lg aver g \frac{l}{2\sqrt{h^2 + R^2}} - 10 \lg \frac{\sqrt{R^2 + h_s^3}}{t_o}, \partial B_s$ $= 10 \lg \frac{\sqrt{R^2 + h_s^3}}{t_o}, \partial B_s$ $vie h_s - \text{becom. Scharalini (Hachium), m.}$	$f_{27} = f_{73} + 10 \lg (1-\alpha_s) + 10 \lg \frac{\lambda}{\sigma} - \\ -10 \lg \frac{\sqrt{R_s^2 + h_s^2}}{c_s} + 10 \lg \arg \frac{l}{2\alpha} + \\ + 10 \lg \arg \frac{l}{2\alpha} + \\ + 10 \lg \arg \frac{l}{2\alpha} + \\ \pi_R = f^{42}_{sc2p} + scoded universal graphs and spandschall, some sign is a sign of the state of the$
Примеры 4	Транспортный поток, строительная площацка для сооружения автодорог (а/д.)	Актотранспортные потоки, строктельные машины и механизмы вдоль строящейся а/д	Автогранспортные потоки, строительные машины и механизмы вдоль строящейся а/д
Обхэначения на схеме 3	1-литейный петочник пума 2-расчетная тольа. (РТ) 3-объект адустического воздействия 4-стражающая (потпощающая) поверхлюсть	5-остакада (насыпь)	6-стражающая поверхлость эстакады (насыпы), по которой проходит а/д.
Вид схемы			
S 12 -	-	æı	46.

Таблица 1. Основные расчетные схемы (окончание)

Расчетная формула	\$	$L_{pp} = L_{eg} + 104g(1-\alpha_e) + 104g(1-\alpha_{spp}) + \\ + 104g\beta_{segp}^2 + 104g\frac{2}{h_{eg}} + 104g\sqrt{(h_{sp} + h_e)^2 + R^2} + \\ + 104gavet_2 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_2 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_2 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_2 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_2 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_2 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_2 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_2 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_3 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_3 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_3 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_3 \frac{I}{2h_{eg}^2} + 104gavet_3 \frac{I}{\sqrt{(h_{sp}^2 + h_e)^2 + R^2}} + \\ + 104gavet_3 \frac{I}{2h_{eg}^2} + \frac{I}{2h_{eg$	$I_{pr} = I_{crac} + 10 \lg (1 - \alpha_s) + 10 \lg 2\pi (-10 \lg \frac{R_s}{I_0} + 10 \lg C. + 10 \lg 4 - 10 \lg \pi^* , \delta h$ где h_s — высота выемки, M_s β_{imp}^s — воффициент звукопоглощения склона выемки. α_s — коэффициент звукопоглощения склона выемки.	$L_{p,r} = L_{p,s} - 10 (g_1 - \sigma_n) + 20 (g_1 - \sigma_s) + \\ + 10 (g_1 \frac{\lambda^2}{h_{s,s}} - 20 (g_1 \beta_{ous,p}^{-s} - 10) g_1 \frac{R_s}{h_s} - 10) g_{ous,p}^{-s} + \\ + 10 (g_1 \sigma_r v_{G_2} \frac{l}{2\sigma_s} + 10) g_2 \frac{l}{2R_s} - 13, \partial E$ $ \tau_{TR} = R_0 - 1 M_s$ $ \beta_{ous,p}^{-s} = \kappa \cos \varphi_{C_2} \text{ ин из сили и;} $ $ \beta_{ous,p}^{-s} = \kappa \cos \varphi_{C_2} \text{ ин из сили и;} $ $ \theta_{s,s}^{-s} = \mu_{s,p} \text{ ин из сили и;} $
Примеры	ব	Автотранспортные потоки, строительные машины и механизмы вдень строящейся а/д 17,000 %.	Автотранспортные потоки, строительные машишы и мехапизмы выоль строящейся а/л где \mathcal{A}_{a} где \mathcal{A}_{a} вы	Строительные +1 межанизмы, машлины и автомобильные потоки +1 расположенной между где иле и РТ и РТ и в в в в в в в в в в в в в в в в в в
Обозначеныя на схеме	8	7-акустический экран	8-пыемка.	9-насъпъ
Вид схемы	2			
<u>R</u>		141	10	9

го 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 этого 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 создается за счет звукопоглощения склоном выемки и за счет создаваемого выемкой экранирующего эффекта.

В схеме №6 эффект снижения шума создается затуханием звука за счет его звукопоглощения склоном насыпи и ее верхней части, а также экранирующего ее действия путем создания акустической тени за насыпью (двойная дифракция).

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА

3.1 Снижение шума

Выражение 10 lg
$$arctg = \frac{l}{2R}$$
 (где l – дли-

на линейного источника, R — расстояние от линейного источника) показывает добавку в дБ на характер звукового поля линейного излучателя. На рис. 1 показаны зависимости этой добавки для различных значений R и l характерных для строительных площадок и автотранспортных потоков. При этом длины от нескольких десятков до нескольких сот метров характерны для строительных площадок, а длина транспортно-

го потока, как правило, составляет несколько тысяч метров. Анализ графика показывает, чем длиннее излучатель, тем меньше эти поправки; для значений выше 1000 м поправка для расстояний 15-250 м составляет +2 дБ, а для расстояний 500 и более метров добавки близки к 0. Это объясняется тем, что характер цилиндрической звуковой волны сохраняется до 2000 м., т.е. для транспортных потоков ее или можно не учитывать, или ограничится добавкой +2 дБ. Совершенно по-другому эта картина выглядит для строительных площадок. При небольших длинах излучателя цилиндрическая звуковая волна быстро переходит в сферическую. Так для излучателя длиной 50 м добавка составляет почти – 10 дБ, а для l=200 м добавка составляет 15 дБ. Эти значения должны вноситься в расчеты с целью увеличения их точности.

3.2. Влияние звукопоглощения поверхности

Шум в расчетной точке зависит от звукопоглощающих свойств поверхности, по которой распространяется звук. На рис. 2 показано как изменяются УЗД в РТ в зависимости от звукопоглощающих свойств (трава, асфальт). Разница в значениях может достигать от 5 до 10 дБ. Это значит, что в расчеты необходимо вносить поправку на звукопоглощение поверхности.

3.3 Расположение источников на эстакаде

При изменении места расположения транспортных потоков на эстакаде шум меняется (рис. 3). Это объясняется тем, что край эстакады служит акустическим экраном; чем дальше от края эста-

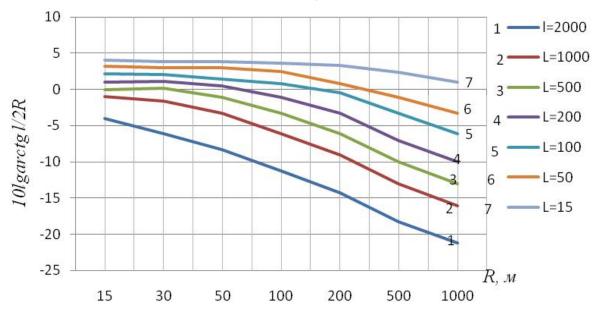


Рис. 1. График зависимости 10 lg $arctg = \frac{l}{2R}$ от R и l

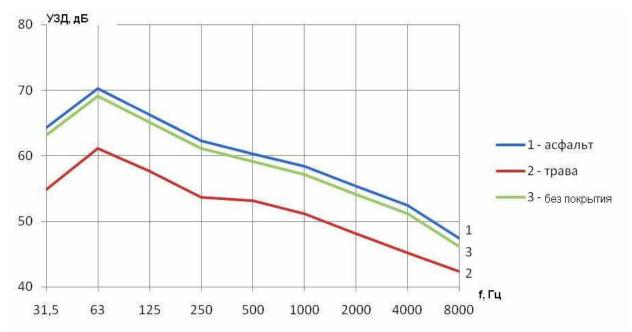


Рис. 2. Изменение шума в зависимости от звукопоглощающих свойств поверхности

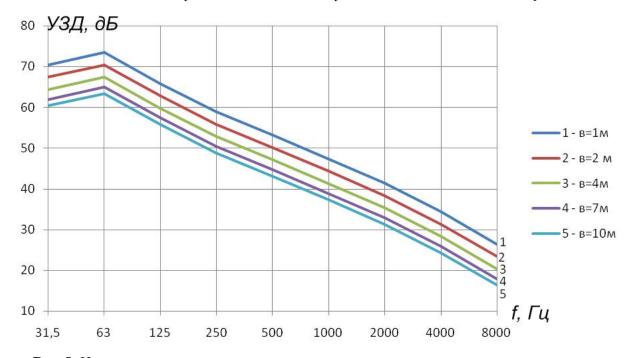


Рис. 3. Изменение шума при изменении расположения транспортного потока на эстакаде: 1-e=1м, 2-e=2м, 3-e=4м, 4-e=7м, 5-e=10м

кады, тем шум в РТ меньше из-за экранирующих свойств края эстакады, характеризуемого шириной \mathfrak{s} . При изменении ширины от 1 до 10 м УЗД в РТ уменьшается на 10 дБ, от 1 до 4 м на 6 дБ, а от 1 до 2 м на 3 дБ. Это означает, что при расположении источников шума на эстакаде в расчеты должны вноситься поправки путем снижения рядности потоков, т.е. целесообразно учитывать только вклад не более чем от 1-2 потоков.

3.4 Влияние АЭ

В зависимости от звукопоглощающих

свойств АЭ, установленного на эстакаде, дополнительное снижение УЗД может составить от 3 до 10 дБ (рис. 4). В существующих расчетах этими данными пренебрегают, что снижает точность получаемых результатов.

3.5 Коэффициент дифракции

Коэффициент дифракции показывает степень изменения перераспределения звукового поля за счет его движения звука в пространстве. Значения коэффициентов дифракции для искусственных сооружений приведены в табл. 2.

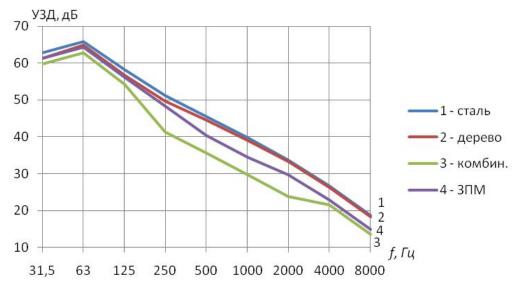


Рис. 4. Влияние звукопоглощающих свойств АЭ

Таблица 2. Значение коэффициента дифракции для искусственных сооружений

Наименование искусственного сооружения	Схема	Коэффициент дифракции, $eta_{\partial u \phi p}$.	Значение $10 lg eta_{\partial u \phi p}, \ { m д} { m G}$
Эстакады, выемки		$\frac{1}{\pi}$	-5
Акустический экран		$\frac{1}{2\pi}$	-8
Насыпь		$\dfrac{1}{\pi}$ (двойная дифракция)	$20 \lg \frac{1}{\pi} = -10$
!			<u> </u>

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1.) Разработаны расчетные схемы, показывающие характер излучения звука от линейных источников с учетом конструктивных особенностей искусственных сооружений, расположения источников звука, особенностей окружающего ландшафта.
- 2.) Разработаны формулы для расчетов УЗД от линейного источника в свободном звуковом поле, находящегося в различных положениях на эстакаде, при наличии и отсутствии АЭ, в выемке и за насыпью.
- 3.) Выполненными теоретическими исследованиями установлено:

- поправка на характер звуковой волны зависит от соотношения длины l и расстояния R; для больших l (несколько тыс. м) она может не учитываться, а для небольших l и R ее значения может составлять 5-15 дБ;
- учет влияния звукопоглощения подстилающей поверхности дает отрицательную добавку от 5 до $10~\mathrm{дБ}$;
- в зависимости от расположения транспортного потока на эстакаде дополнительная отрицательная поправка может составить от 3 до 6 дБ;
- предложены значения коэффициентов дифракции для искусственных сооружений, при этом вводимые поправки для $A\Theta$, насыпи и выемки могут составлять от 5 до 10 д \mathbb{B} ;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минина Н.Н.* Снижение шума при строительстве автомобильных дорог. Автореферат дисс... канд. техн. наук. СПб.: 2006.

2. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. М.: Университетская книга, Логос, 2008. С.424.

CONSTRUCTION SITES AND TRANSPORT FLOWS PREDICTION

© 2010 N. I. Ivanov, N.N. Minina

Baltic State Technical University "VOENMECH" named after D.F. Ustinov, St.-Petersburg

Mathematical models of linear noise sources (construction sites and transport flows) considering noise source length, distance from the source to the receiver, sound absorption of the underneath surface, placement, height of the source, diffraction features around spatial constructions and other parameters are developed. Main landscape features around receiver are also taken into account in the models, particular models are developed for sound propagation at plane surface, flyovers, embankments and cuts. Prediction models for estimation of noise reduction level by noise barriers located at the edge of flyovers, embankments and cuts are formulated. Experimental investigations are carried out in order to validate developed mathematical models. Measured results are in good agreement with predicted data. Key words: noise, calculation, reduction, noise barriers