

УДК 534.322.3.08:006.354

*Н.И. ИВАНОВ, д-р техн. наук, Н.Г. СЕМЕНОВ, инженер (kb_iak@mail.ru),
Н.В. ТЮРИНА, канд. техн. наук (9116053@ya.ru), Балтийский государственный
технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (Санкт-Петербург)*

Расчет и конструирование акустических экранов для снижения шума в жилой застройке

Предложен новый метод расчета акустической эффективности отражающе-поглощающих акустических экранов (АЭ) для снижения шума в жилой застройке, базирующийся на статистической теории акустики. Рассмотрены две расчетные модели с разными типами источников шума: точечным и линейным. В первой модели прохождение звука через свободное ребро АЭ представлено в виде линейного излучателя цилиндрических звуковых волн, а во втором – в виде условного плоского излучателя. В полученных формулах учитываются: расположение АЭ в пространстве по отношению к источнику шума и расчетной точке; геометрические размеры АЭ (высота, длина); характер дифракции на свободном ребре; звукопоглощающие (отражающие) свойства АЭ; тип источника шума. Проверка предложенных методов расчета выполнялась на опытном стенде, где испытывались АЭ в натуральную величину. Показано, что предложенные методы расчета обеспечивают более высокую точность (отклонения менее $\pm(1-2)$ дБ) по сравнению с расчетами по принятым методикам (отклонение $\pm(4-5)$ дБ). Разработаны рекомендации по проектированию и конструированию АЭ для снижения шума в жилой застройке.

Ключевые слова: экраны акустические, акустическая эффективность, жилая застройка, шум, показатель дифракции.

Акустический экран – плотная преграда, устанавливаемая на пути распространения звука от автомобильной или железной дороги, строительной площадки, стационарной или передвижной установки к защищаемой от шума жилой застройке. Особенностью этой преграды является то, что она имеет конечные размеры (высоту, длину). Акустический экран (АЭ) блокирует линию прямой видимости между источником шума (ИШ) и защищаемым от шума объектом, создавая акустическую тень.

Первые устройства-барьеры для защиты от шума железнодорожного транспорта появились в конце XIX в. в Лондоне и изготавливались из бетона. Массовое применение АЭ началось в Европе, США, Японии и некоторых других странах в начале 1970-х гг. Уже к концу прошлого столетия в Германии, Японии и некоторых др. странах установлено по несколько тыс. км АЭ вдоль автомобильных и железных дорог.

В нашей стране первые АЭ массово применены при строительстве Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) в середине 1990-х гг. На МКАД установлено около 13 км АЭ. Всего в России к настоящему времени установлено несколько сотен км АЭ (порядка 0,5 млн м²) вдоль автомобильных и железных дорог. Обследования установленных АЭ показали, что многие из них обладают рядом конструктивных недостатков, спроектированы с ошибками и обладают невысокими шумозащитными свойствами. Одной из основных причин этого является недостаток информации об акустических экранах у конструкторов и проектировщиков. В первую очередь это относится к использованию методик расчета акустической эффективности АЭ, не обеспечивающих приемлемой точности.

Расчет акустической эффективности АЭ. В основном расчеты АЭ базируются на геометрической теории акустики с применением числа Френеля, учитывающе-

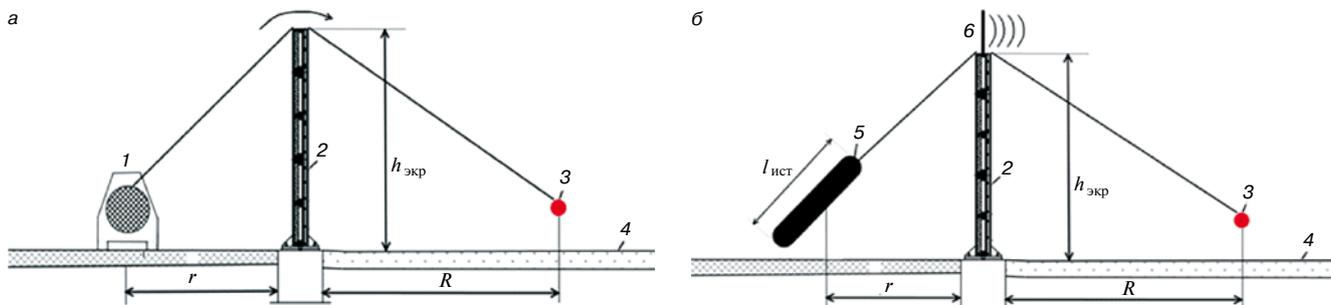


Рис. 1. Расчетные схемы АЭ для точечного (а) и линейного (б) источников шума (ИШ): 1 – точечный ИШ, 2 – АЭ, 3 – РТ, 4 – опорная поверхность, 5 – линейный ИШ, 6 – условный плоский излучатель; r – расстояние от ИШ до АЭ, R – расстояние от АЭ до РТ, $h_{\text{экp}}$ – высота АЭ

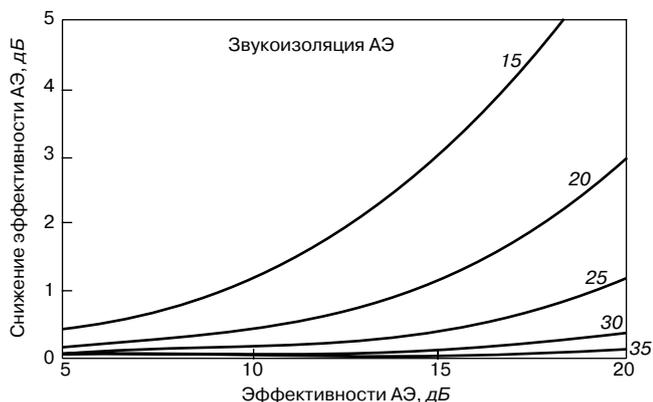


Рис. 2. Поправка на конечную звукоизоляцию АЭ

го разность хода звуковых лучей в присутствии АЭ [1, 2]. Эти методы расчета не учитывают свойства материала АЭ, определяющие его поглощающие или отражающие свойства. Сравнение результатов расчетов, выполненных в соответствии с различными существующими методиками, с данными натурных испытаний показывают существенное расхождение.

В последние годы разрабатываются новые методы расчета акустической эффективности АЭ, базирующиеся на основных положениях статистической теории акустики [3, 4]. Авторами получены формулы расчета АЭ для двух видов источников шума (ИШ): точечного и линейного (рис. 1).

При расчетах приняты допущения:

- при действии точечного ИШ свободное верхнее ребро АЭ, через которое дифрагирует звук, принято линейным излучателем, а звуковая волна рассматривается в виде цилиндрической;
- при действии линейного источника звука прохождение звука на свободном ребре АЭ принято рассматривать как излучение плоским ИШ, длина которого равна длине АЭ;
- АЭ принят звуконепропускаемым, т. е. звук только дифрагирует на верхнем свободном ребре АЭ. Влияние зву-

Таблица 1

Высота АЭ, м	ПД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	4	6	7	8	9	9	10	11
3	4	7	7	9	11	12	13	14
6	5	8	9	11	13	14	16	18

Таблица 2

Коэффициент звукопоглощения ($\alpha_{\text{экр}}$)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$10 \lg(1 - \alpha_{\text{экр}})$, дБ	-1	-1,5	-2,2	-3	-4	-5,2	-7

копроводности АЭ на акустическую эффективность учитывается с помощью экспериментальных поправок.

Значения экспериментальных поправок, а также точность предложенных методов расчета получены и проверены на специально созданном стенде, где АЭ был изготовлен в натуральную величину из различных материалов (дерево и металл).

Формула для расчета акустической эффективности отражающе-поглощающих АЭ для точечного источника шума получена в виде:

$$\Delta L_{\text{экр}} = 20 \lg \frac{r^2 R}{(r+R)^2 r_0} + k \lg \frac{h_{\text{экр}}}{\lambda} - \text{ПД} - 10 \lg(1 - \alpha_{\text{экр}}) - 10 \lg \arctg \frac{l_{\text{экр}}}{2h_{\text{экр}}} - 10 \lg \arctg \frac{l_{\text{экр}}}{2R} - \Delta \text{ЗИ}_{\text{экр}} + 13, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где r и R – расстояния от ИШ до АЭ и от АЭ до РТ соответственно, м; k – экспериментально полученный числовой коэффициент, вводящий поправку на высоту АЭ – $h_{\text{экр}}$ ($k=0,7$ для $h_{\text{экр}}=1$ м, $k=1$ для $h_{\text{экр}}=2-3$ м, $k=1,5$ для $h_{\text{экр}}=4-5$ м, $k=2$ для $h_{\text{экр}} \geq 6$ м); $l_{\text{экр}}$ – длина АЭ, м; $h_{\text{экр}}$ – высота АЭ, м; ПД – показатель дифракции, берется из данных экспериментов в зависимости от высоты АЭ (табл. 1); $\alpha_{\text{экр}}$ – коэффициент звукопоглощения АЭ (вычис-

Таблица 3

Исходные данных для расчетов, рассчитываемые значения	Вычисленные и измеренные значения, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$10 \lg \frac{r^2 R}{(r+R)^2 r_0}$ $r=5$ м $R=25$ м	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
$10 \lg \arctg \frac{l_{\text{экр}}}{2R}$ $l_{\text{экр}}=50$ м	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
$10 \lg \arctg \frac{l_{\text{экр}}}{2h_{\text{экр}}}$ $h_{\text{экр}}=2$ м	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
Числовая добавка	13	13	13	13	13	13	13	13
$10 \lg \frac{h_{\text{экр}}}{\lambda}$ $h_{\text{экр}}=2$ м	-4,3	-1,3	1,7	4,7	7,7	10,7	13,7	16,7
ПД	-4	-6	-7	-8	-10	-11	-11	-12
$\alpha_{\text{экр}}/10 \lg(1 - \alpha_{\text{экр}})$	0,4/2	0,5/3	0,7/5	0,8/7	0,7/7	0,7/5	0,7/5	0,7/5
$\Delta L_{\text{экр}}$ расчет	3	5	9	12	13	14	16	18
$\Delta L_{\text{экр}}$ эксперимент	2	4	7	10	10	12	17	20
$\Delta L_{\text{экр}}$ расчет (по принятым методикам)	5,2	5,3	5,7	6,2	7,3	8,9	11,2	13,9

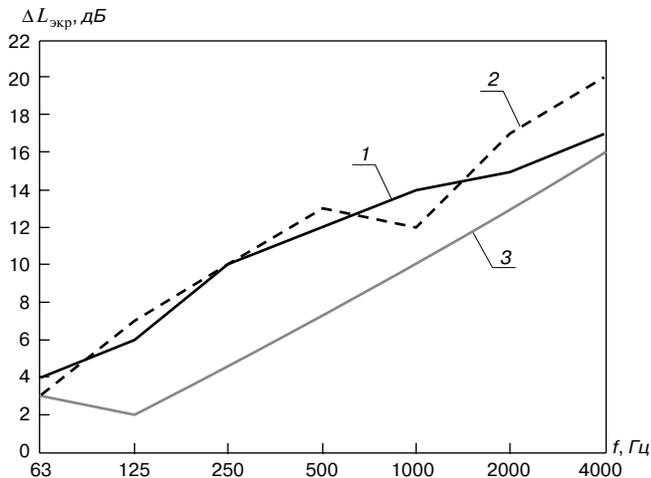


Рис. 3. Сравнительные данные расчета (1) и эксперимента (2) акустической эффективности отражающе-поглощающего АЭ высотой 3 м на расстоянии 25 м по сравнению с данными по методике с использованием числа Френеля (3)

ленные значения приведены в табл. 2); $\Delta ZI_{\text{экp}}$ – поправка на прохождение звука через АЭ при высоких (более 20 дБ) значениях акустической эффективности, дБ (рис. 2).

Физический смысл показателя дифракции понятен из соотношения:

$$ПД = 10 \lg \frac{1}{\beta_{\text{диф}}^{\text{экp}}},$$

где $\beta_{\text{диф}}^{\text{экp}}$ – коэффициент дифракции АЭ, равный отношению интенсивности звука, прошедшего через свободное ребро АЭ, к интенсивности звука, падающего на свободное ребро.

Формула для расчетов акустической эффективности отражающе-поглощающих АЭ для линейного ИШ получена в виде:

$$\begin{aligned} \Delta L_{\text{экp}} = & 10 \lg \frac{r}{R+r} + k 10 \lg \frac{h_{\text{экp}}}{\lambda} - ПД + 10 \lg \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2(R+r)} - \\ & - 10 \lg (1 - \alpha_{\text{экp}}) - 10 \lg \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} - 10 \lg \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2r} - \Delta ZI_{\text{экp}} - \\ & - 10 \lg \arctg \frac{10 l_{\text{экp}}}{2R \sqrt{4R^2 + l_{\text{экp}}^2} + 10^2} + 7, \text{ дБ}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для отражающих АЭ член в формулах $10 \lg (1 - \alpha_{\text{экp}}) = 0$.

Проверка точности расчетов проводилась для отражающе-поглощающих и отражающих АЭ из дерева и металла высотой 1, 2, 3, 4, 5, 6 м. В качестве примера в табл. 3 приведены сравнительные данные расчета и эксперимента отражающе-поглощающих АЭ при $h_{\text{экp}} = 2$ м. Сравнительные данные результатов расчета и эксперимента по определению акустической эффективности АЭ высотой 3 и 4 м показаны на рис. 3 и 4 соответственно. Совпадения данных эксперимента с данными расчетов по предложенной методике удовлетворительные, в основном отклонения в октавных полосах не превышают $\pm(1-2)$ дБ, за исключением октавной полосы со среднегеометрической частотой 4000 Гц. Расчет по принятым методикам показал отклонение от эксперимента до 2–5 дБ в диапазоне частот 125–4000 Гц.

Таким образом, предложены новые методы расчета акустической эффективности АЭ для снижения шума в жилой

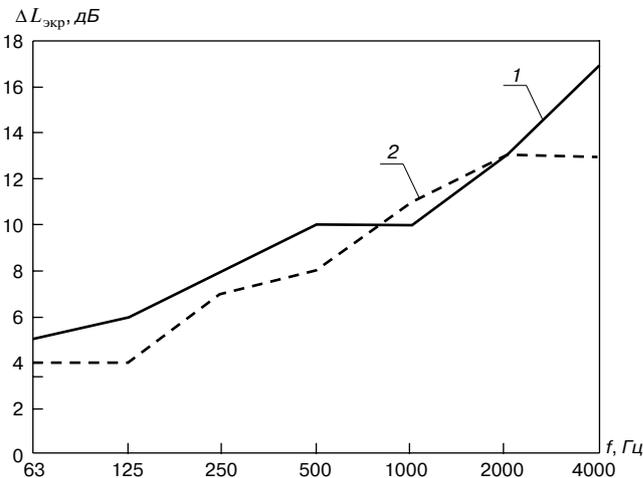


Рис. 4. Сравнительные данные акустической эффективности отражающего металлического АЭ высотой 4 м (на расстоянии 25 м): 1 – расчет, 2 – эксперимент

застройке, базирующиеся на основных положениях статистической теории акустики. Проверка предложенных методов расчета выполнена на опытном стенде, где испытывались АЭ в натуральную величину. Сравнение результатов расчета с данными экспериментальных исследований показало, что предложенные авторами методы расчета обеспечивают более высокую точность (отклонения менее $\pm(1-2)$ дБ) по сравнению с расчетами по принятым методикам (отклонения $\pm(4-5)$ дБ).

Разработаны рекомендации по проектированию и конструированию акустических экранов для снижения шума в жилой застройке.

Список литературы

1. Маева Д. Акустические экраны // Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л. Осипова, Е.Я. Юдина. М.: Стройиздат, 1987. С. 426–448.
2. Jorge P. Arenas Use of Barriers / Handbook of Noise and Vibration Control. Ed by Malcolm J. Crocker and John Willey and Sous, Inc, 2007. Pp. 714–724.
3. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Логос, 2013. 432 с.
4. Иванов Н.И., Семенов Н.Г., Тюрина Н.В. Проблемы конструирования акустических экранов и их применение для снижения шума железнодорожного и автомобильного транспорта // Сб. докладов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации». Санкт-Петербург. 26–28 марта 2013 г. С. 51–86.

Подписка на электронную версию

Актуальная информация для всех работников
строительного комплекса



<http://ejournal.rifsm.ru/>