

Снижение УЗ экраном конечной толщины представляет собой сумму снижения шума условным тонким экраном $\Delta L_{\text{экр}}$, размещение которого совпадает с передней плоскостью экрана конечной толщины (с боку расчетной точки), и снижения шума за счет толщины экрана B (ΔL_B)

$$\Delta L_{\text{тэкр}} = \Delta L_{\text{экр}} + \Delta L_B,$$

где $\Delta L_{\text{экр}}$ для эффекта дифракции рассчитывается по модели (2), $\Delta L_B = K \lg(mB)$, $m = 2\pi/\lambda$, $\pi = 3,141592\dots$, K - коэффициент определяется в зависимости от углов Θ и Θ' визирования точек размещения источника и приемника шума с верхними кромками толстого экрана. Модель экрана конечной толщины приемлема при условии $B \geq \lambda$, а также при условиях, характерных для тонкого экрана-стенки. Если $\lambda > B$, тогда экран рассчитывается как тонкий.

Получены результаты экранирования (спектральная и суммарная зависимость эффективности экранов от значений эффективной высоты экрана $h_{\text{эфф}}$) для источника розового шума при учете полного отражения звуковых волн от подстилающей поверхности для исходных данных отраслевого стандарта [2]. Конечная длина экрана снижает эффективность в зависимости от значений углов α_1 и α_2 между прямыми, соединяющими точку приема P и края экрана (O_2 и O_3), и перпендикуляром, опущенным на поверхность экрана из точки приема P . Предварительные результаты показали, что более простая модель дифракции Кирхгофа, положенная в основу методики [2], занижает эффективность экрана до 3 дБ для частот ниже 125 Гц и завышает до 4 дБ на частотах выше 2000 Гц. В диапазоне частот 250 - 1000 Гц результаты оценок по разработанным алгоритмам и методике [2] отличаются на величину, не превышающую 0,5 дБ. Кроме того показано, что значения эффективности экранов, выраженные в величинах снижения уровней звука, не являются универсальными, а зависят от типа источника излучения звуковых волн и от характера отражения звуковых волн до и после экрана (табл. 2 [5,6]).

Таблица 2

Влияние типа источника шума на эффективность экранирования в УЗ

Тип источника шума	Характер отражения звуковой волны		
	Отражение отсутствует $\Delta L_A / \Delta L_{in}$	Полное отражение $\Delta L_A / \Delta L_{in}$	Отражение от импедансной поверхности $\Delta L_A / \Delta L_{in}$
ТРД	12,9 / 10,9	8,3 / 6,1	12,0 / 7,9
ТРДД	15,5 / 8,8	10,8 / 3,8	13,7 / 5,7
Розовый шум	13,8 / 8,5	9,1 / 3,5	12,6 / 5,9

В табл. 2 приведены результаты оценок для нормализованных спектров шума двигателей турбореактивных (ТРД) и двухконтурных (ТРДД). На рис. 1 показаны спектры шума двигателя самолета Ил-86 для разных направлений излучения шума (углов Θ - θ), которые в значительной степени отличаются между собой как по уровню звука (рис. 2 - диаграмма направленности излучения шума для данного типа самолета), так и по распределению звуковой энергии в полосах частот. Соответственно эффективность использования экрана с идентичными характеристиками для разных направлений излучения шума также будет различной даже для одного и того же типа двигателя. Поэтому обоснование характеристик устанавливаемого экрана необходимо осуществлять с учетом направленности излучения и характерных режимов работы источника шума.

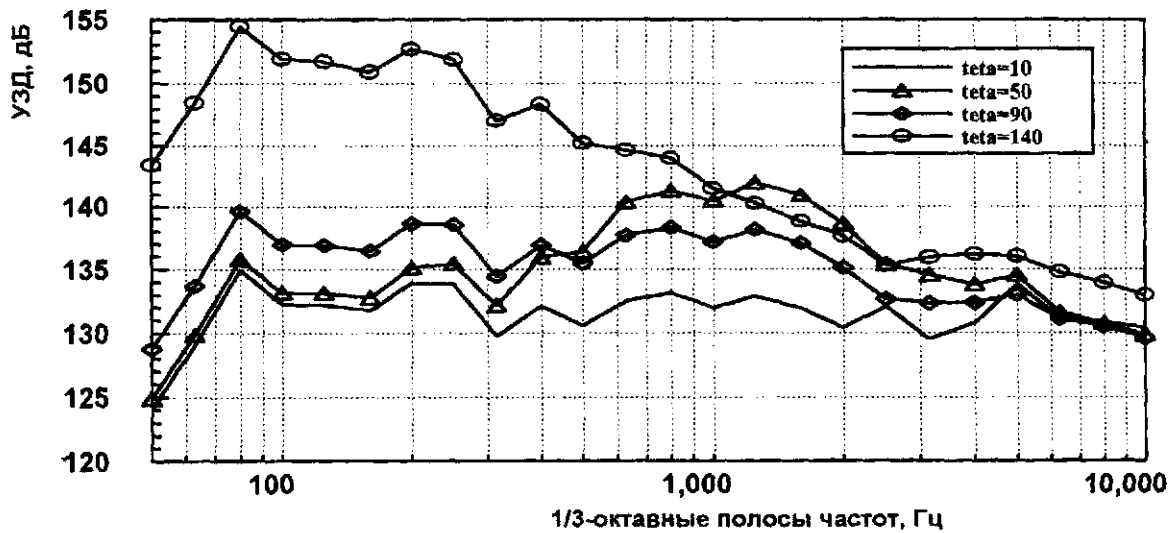


Рис. 1. Результаты оценки спектральных УЗД излучения шума двигателями самолета Ил-86

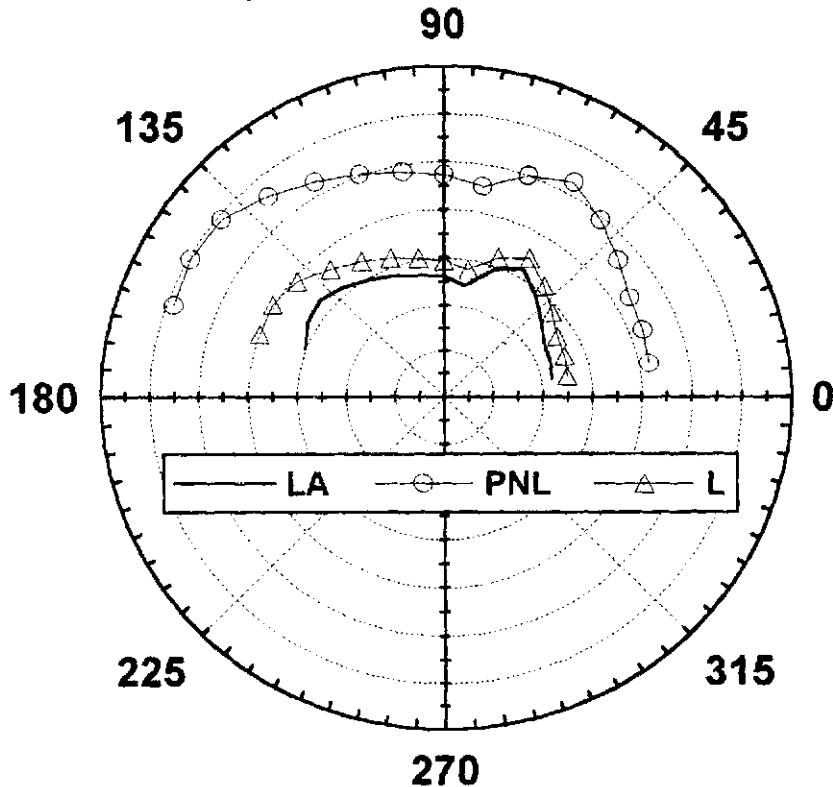


Рис. 2. Результаты оценки направленности излучения шума двигателями Ил-86

Другим эффектом, в значительной степени влияющим на результаты экранирования шума (1), является интерференция звуковых волн - прямых и отраженных от земной поверхности. Эффект интерференции зависит от импедансных характеристик отражающих поверхностей [5,6], носит спектральный характер (усиление и ослабление уровней звука в отдельных полосах частот значительно регулируется импедансными характеристиками отражающих поверхностей). Соответственно разработанный программный комплекс для оценки эффективности экранов включает:

оценку спектральных характеристик источника шума - в зависимости от режима работы, условий окружающего воздуха;

оценку импедансных характеристик отражающих поверхностей и соответствующих им эффектов интерференции прямой и отраженных звуковых волн;

оценку эффекта дифракции на кромках (верхней и боковых) экрана, поглощение звуковой энергии атмосферным воздухом (существенно для больших расстояний, характерных для условий аэропорта);

ослабление звуковой энергии в результате дивергенции звуковой волны.

Разработанный программный комплекс ЕКРАНLUX позволяет анализировать различные геометрические характеристики экрана и расчетной схемы, различные источники шума (авиационные источники рассчитываются отдельным модулем BELTASS), различные условия распространения звуковых волн. Интерфейс пользователя позволяет выводить расчетные результаты в виде графических спектров (пример на рис. 3), удобных для анализа.

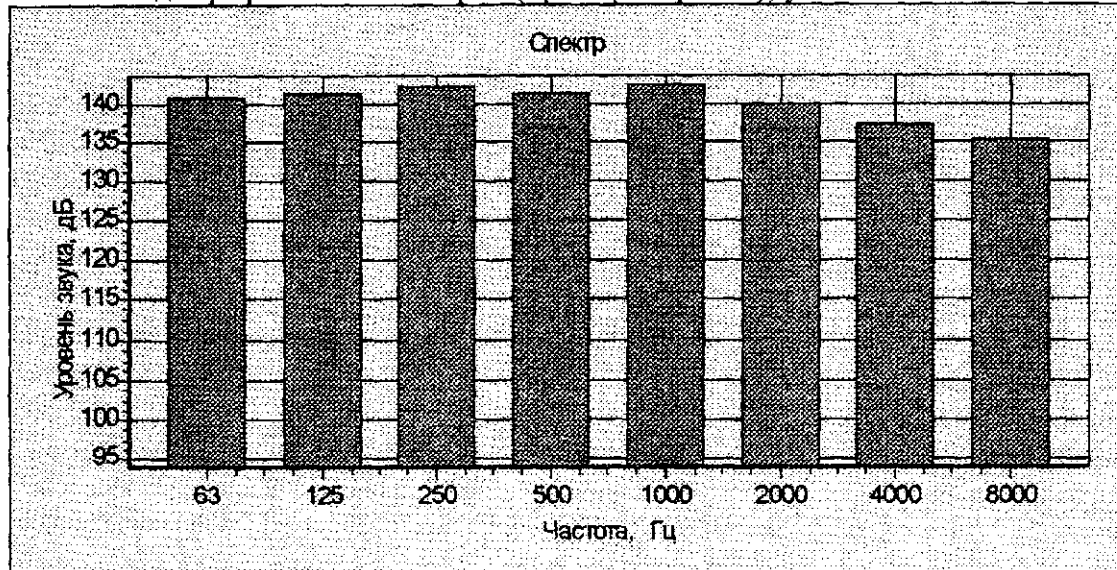


Рис. 3. Октавный спектр шума двигателя НК-86: режим - максимальный, угол излучения 90 град. расстояние 1м

Адекватность используемых алгоритмов разработанных моделей доказана результатами сопоставления результатов расчета и измерения шума двигателя самолета Ил-86 при наличии и отсутствии экрана (экран высотой 6 м возведен в аэропорту Шереметьево специально для снижения шума данного типа самолета). Результаты расчета для условий измерения шума показаны на рис. 4, а их сравнение с измеренными значениями приведено в табл. 3.

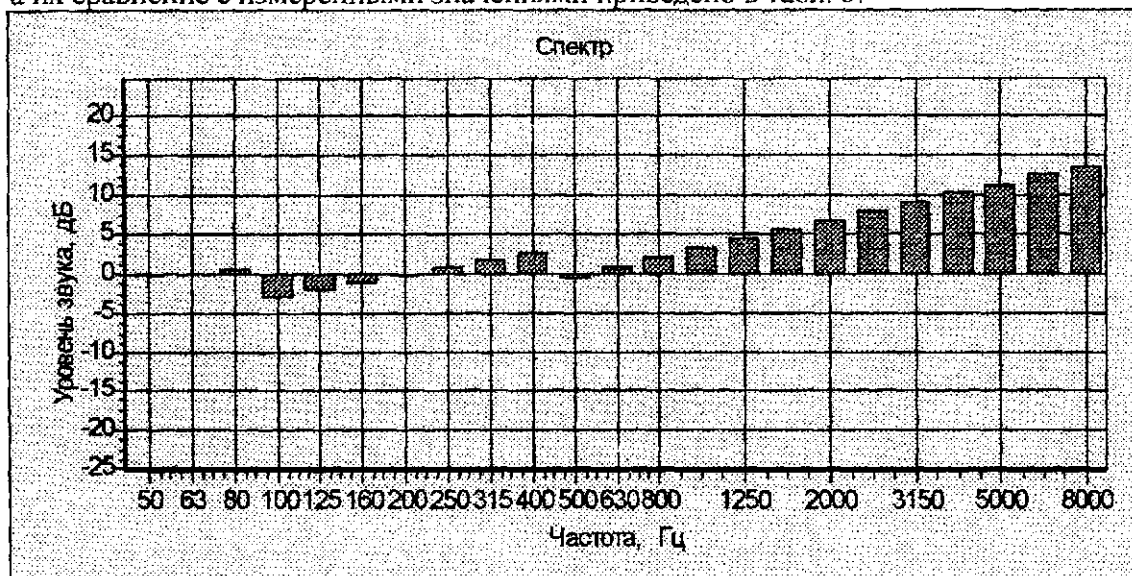


Рис. 4. Эффект экранирования (дифракция звука через верхнюю кромку, один реальный и три мнимых пути распространения шума от источника)

Таблица 3

Измеренная эффективность экрана для снижения шума двигателей самолета Ил-86

Частота, Гц	32,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\Delta L_{\text{экр.}}$, дБ	0,5	-1,0	1,2	3	7	7	9	12	13

Эффект интерференции звуковых волн для данного случая в спектральной области показан на рис. 5.

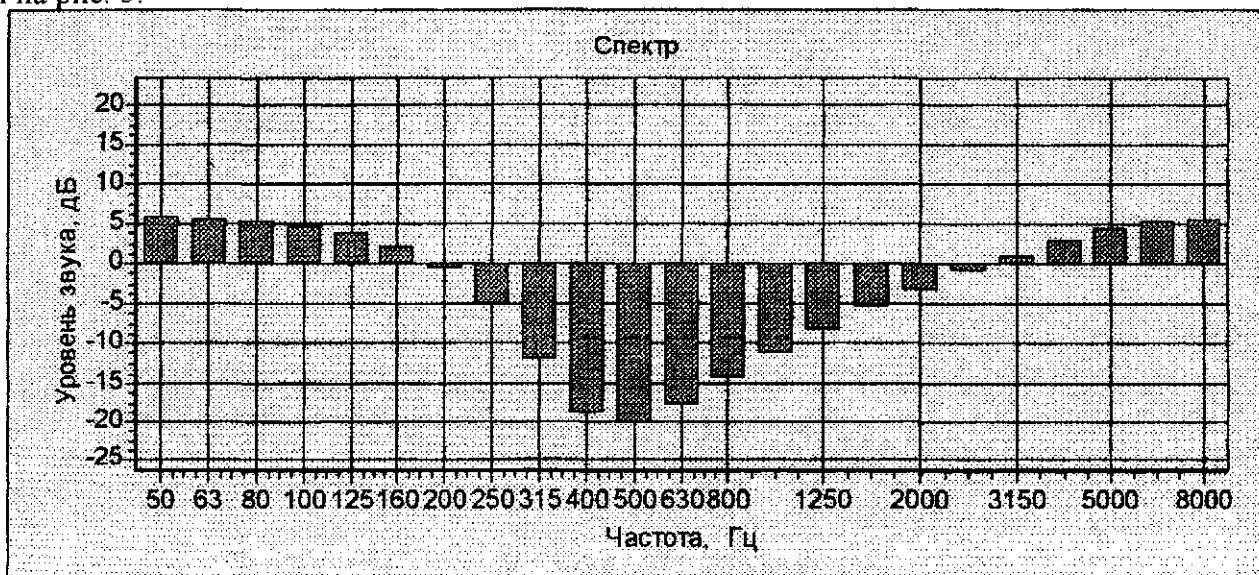


Рис. 5. Эффект интерференции на расстоянии 270 м, высота источника 2,5, высота приемника 1,2, поверхность отражения звуковой волны - травяной покров

Таким образом, разработаны адекватные модели оценки эффективности акустических экранов для снижения воздействия шума, производимого самолетами в районе аэропорта. Они использованы для разработки соответствующей методики оценки и программного комплекса расчета на ЭВМ.

Список литературы

1. СНиП 11-12-77. Часть II. Нормы проектирования. Глава 12. Защита от шума. - М.: Госстрой СССР, 1978. - 86 с.
2. ОСТ 54 72004- 82. Акустические экраны для защиты от шума на предприятиях ГА. - М.: МГА, 1983. - 15 с.
3. Снижение шума в зданиях и жилых районах // Под ред. Г.Л.Осипова и Е.Я.Юдина. - М: Стройиздат, 1987 - 558 с.
4. Kurze U.J. Noise reduction by barriers // Jour. of Acoustic Society of America. - Vol. 55, 1973. - P. 504-524.
5. Zaporozhets O.I., Tokarev V.I., Shylo V.F. Influence of impedance characteristics of the reflecting surfaces on reduction of aviation noise by screens // Proceedings of 4-th Int. Congress on Sound and Vibration. - St.Petersburg. - Vol. 2, 1996. - P.1135-1140.
6. Zaporozhets O.I., Tokarev V.I., Shylo V.F., Attenborough K., K.M.Li. Influence of propagation path characteristics on aviation noise // Inter-Noise'97: Proc. of Int. Conf. on Noise Control. - Budapest, 1997. - P. 319-324.

Стаття надійшла до редакції 27 вересня 1999 року.