

УДК 628.517.2

Влияние угла установки отражающей надстройки на акустическую эффективность шумозащитного экрана

Тупов Владимир Борисович

TupovVB@mpei.ru
SPIN-код: 6422-3480

Мухаметов Айнур Булатович^(*)

MukhametovAB@mpei.ru
SPIN-код: 1264-9785

Мухаметов Динар Булатович

MukhametovDB@mpei.ru

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва, Россия

Аннотация. В статье на основе анализа результатов математического моделирования в программе COMSOL Multiphysics проанализировано влияние угла установки отражающей надстройки длиной 0,5 м на акустическую эффективность шумозащитного экрана высотой 3 м. Получены зависимости акустической эффективности надстройки с различным углом установки от пространственного расположения источника шума и расчетной точки относительно экрана. Получены изолинии уровней звукового давления на среднегеометрических частотах 31,5...2000 Гц в области за шумозащитным экраном с надстройкой. Определены оптимальные углы установки отражающей надстройки для получения большей акустической эффективности шумозащитного экрана.

Ключевые слова: шумозащитный экран, отражающая надстройка, угол установки, акустическая эффективность

The influence of the installation angle of the reflective top panel on the acoustic efficiency of the noise protection barrier

Tupov Vladimir Borisovich

TupovVB@mpei.ru
SPIN-код: 6422-3480

Mukhametov Ainur Bulatovich^(*)

MukhametovAB@mpei.ru
SPIN-код: 1264-9785

Mukhametov Dinar Bulatovich

MukhametovDB@mpei.ru

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia

Abstract. This article analyzes the effect of the installation angle of a 0.5-meter-long reflective top panel on the acoustic efficiency of a 3-meter-high noise barrier using mathematical modeling in COMSOL Multiphysics. The dependences of the acoustic efficiency of a panel with different installation angles on the spatial location of the noise source and the calculated point relative to the barrier were obtained. Isolines of sound pressure levels at octave bands 31,5...2000 Hz were obtained in the area behind the noise protection barrier with a panel. The optimal installation angles of the reflective panel have been determined to achieve greater acoustic efficiency of the noise protection barrier.

Keywords: noise protection barrier, reflective panel, installation angle, acoustic efficiency

Введение. Шумозащитные экраны являются одним из основных способов снижения шума автомобильного и железнодорожного транспорта, энергетического оборудования и оборудования химической и металлургической промышленности [1, 2]. На объектах тепловой энергетики экраны широко используются для снижения шума башенных и «сухих» градирен, дутьевых вентиляторов, трансформаторов и других источников шума, расположенных у поверхности земли [2]. Ввод в эксплуатацию современного оборудования на тепловых электрических станциях часто требует увеличения акустической эффективности существующих конструкций шумозащитных экранов [3].

Для повышения акустической эффективности экранов используются различные типы надстроек на верхней кромке экрана. Исследование акустической эффективности надстроек различного типа и оценка возможности их использования для снижения шума различных источников является актуальной задачей [4–6]. В настоящей работе на основе результатов математического моделирования в программе COMSOL Multiphysics выполнен анализ влияния угла установки отражающей надстройки на акустическую эффективность шумозащитного экрана при различном пространственном расположении источника шума и расчетной точки.

Материалы и методы. Для определения акустической эффективности отражающей надстройки в программе COMSOL Multiphysics разработана математическая модель тонкого отражающего экрана бесконечной длины высотой 3 м. Экран расположен в расчетной области, которая представляет собой окружность диаметром 80 м [6].

В расчете моделируется распространение воздушного шума в пределах расчетной области. Для этого заданы следующие свойства воздуха: плотность воздуха $\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$ и скорость звука в воздухе $c = 343 \text{ м/с}$. Источник звука задан с помощью граничного условия монополярный точечный источник и расположен в центре расчетной области (координаты $x = 0$; $y = 0$). Для задания акустических свойств шумозащитного экрана и отражающей надстройки использовано граничное условие акустическая жесткая стенка. Для исключения отражения звуковых волн на границе расчетной области задан импеданс $\rho_v \cdot c = 411,6 \text{ Па} \cdot \text{с/м}$. При выполнении моделирования не учитываются свойства опорной поверхности, на которой расположен шумозащитный экран. Для проведения вычислений построена треугольная равномерная сетка. Размер элементов сетки равен 0,02 м.

Отражающая надстройка представляет собой панель длиной 0,5 м. Толщина надстройки при выполнении моделирования не учитывается. В работе рассмотрены различные углы установки ($\alpha_{\text{уст}}$) отражающей надстройки относительно верхней кромки экрана: 45°; 90°; 135°; 180°; 225°; 270°; 315°. При углах установки 45°; 90°; 135° надстройка обращена в сторону источника звука, при углах 225°; 270°; 315° — в сторону расчетной точки. При угле установки 180° надстройка представляет собой вертикальную панель, которая увеличивает высоту экрана на 0,5 м. Модель экрана с отражающей надстройкой и определение угла установки приведено на рис. 1.

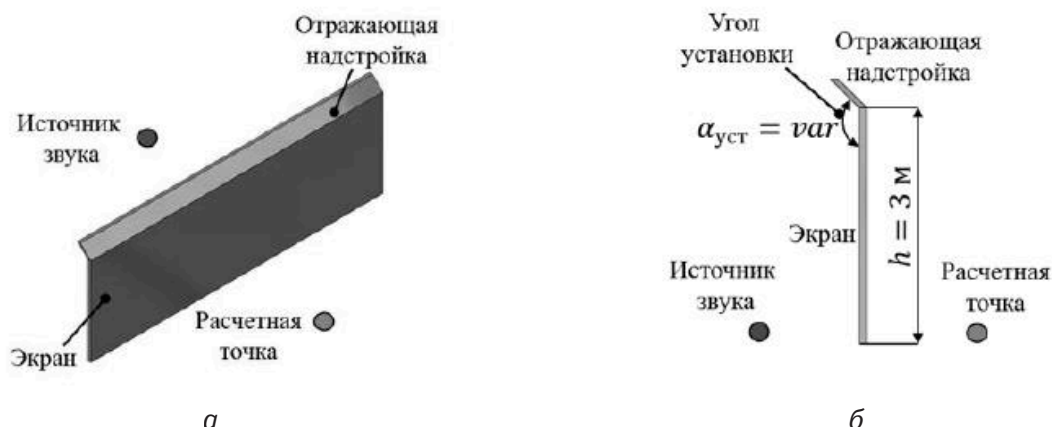


Рис. 1. Модель экрана с отражающей надстройкой:

а — модель экрана с надстройкой; б — определение угла установки отражающей надстройки

Расчетные точки расположены в области за экраном с шагом 0,5 м по координате x . Координата y расчетных точек соответствует координате y источника звука и равна 0. Расстояние от экрана до расчетных точек S_2 изменяется от 0,5 до 36,5 м. Расстояние от источника звука до экрана S_1 изменяется от 1 до 3 м. Разработанная математическая модель приведена на рис. 2.

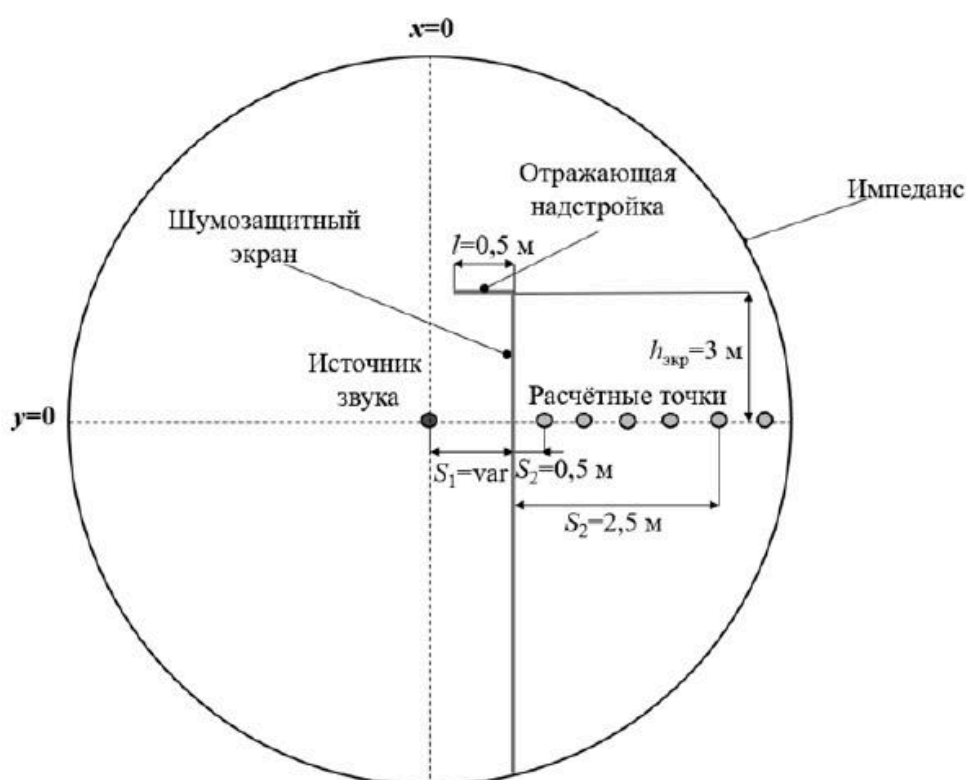


Рис. 2. Математическая модель

В результате моделирования в расчетных точках определяются значения уровней звукового давления на нормируемых среднегеометрических частотах

31,5...2000 Гц, а также уровень звука в дБА. Акустическая эффективность отражающей надстройки $\Delta L_{\text{над}}$ рассчитывается по известной формуле

$$\Delta L_{\text{над}} = L_1 - L_2,$$

где L_1 — уровень звукового давления и уровень звука в расчетной точке за экраном без надстройки, дБ (дБА); L_2 — уровень звукового давления и уровень звука в расчетной точке за экраном с надстройкой, дБ (дБА).

Результаты. В качестве примера на рис. 3, 4 представлены изолинии уровней звукового давления на среднегеометрических частотах 63 и 2000 Гц для шумозащитного экрана без надстройки и с отражающей надстройкой с углом установки $\alpha_{\text{уст}} = 45^\circ$. Расстояние между экраном и источником звука составляет 1 м.

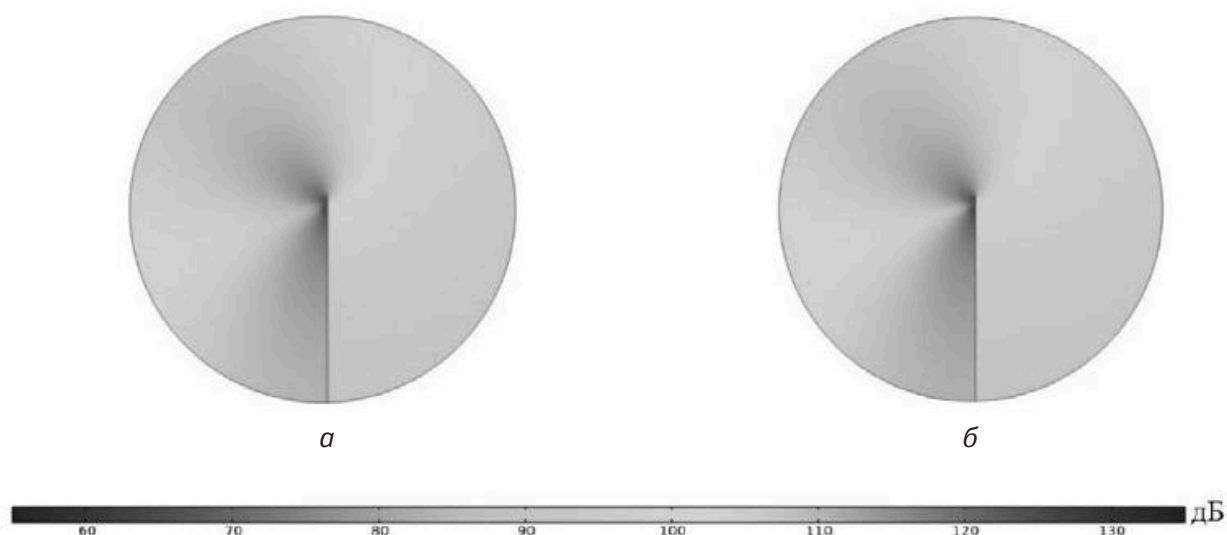


Рис. 3. Изолинии уровней звукового давления на среднегеометрической частоте 63 Гц:
 а — экран без надстройки, б — экран с надстройкой ($\alpha_{\text{уст}} = 45^\circ$)

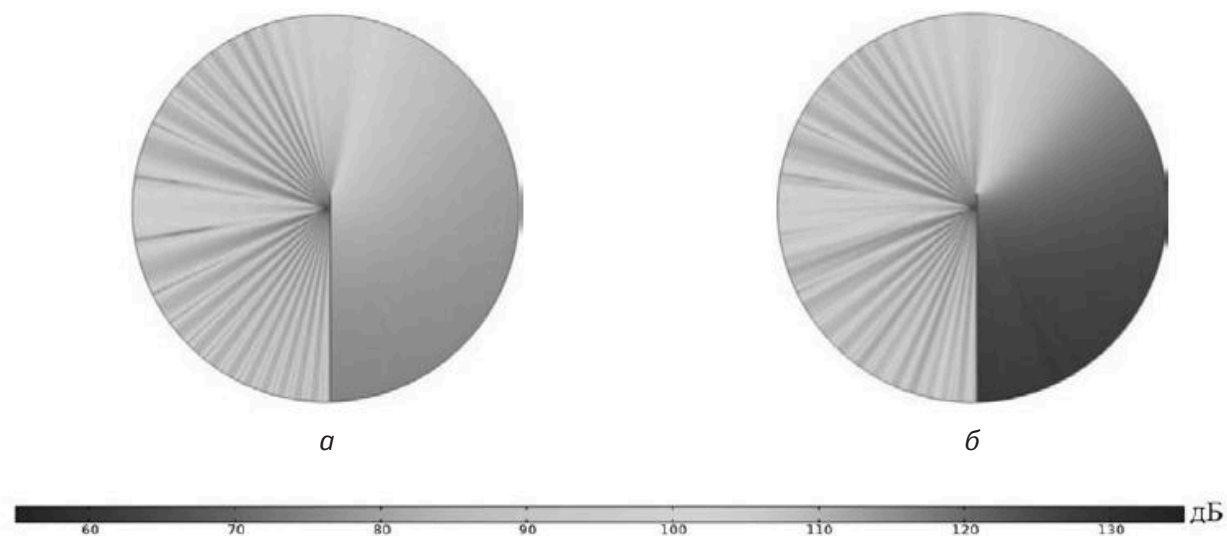


Рис. 4. Изолинии уровней звукового давления на среднегеометрической частоте 2000 Гц:
 а — экран без надстройки, б — экран с надстройкой ($\alpha_{\text{уст}} = 45^\circ$)

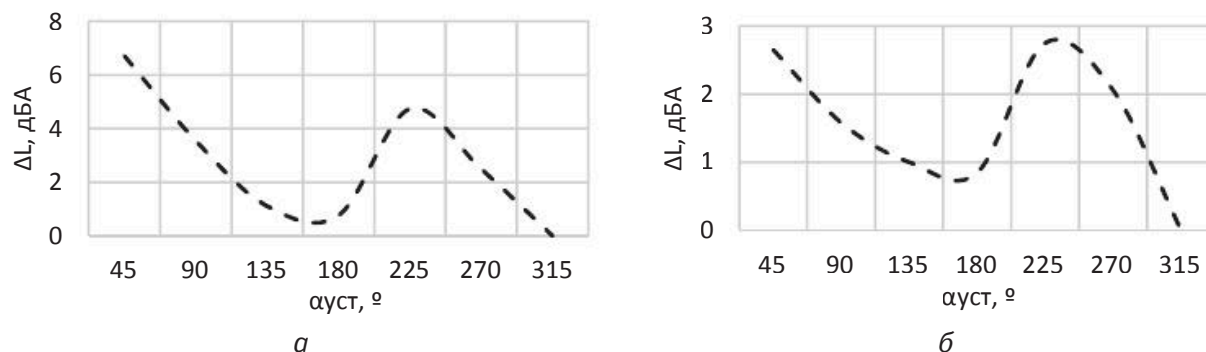


Рис. 5. Акустическая эффективность надстройки от угла установки:

а — расстояние от экрана до источника звука 1 м; б — расстояние от экрана до источника звука 3 м

На рис. 5 приведены зависимости акустической эффективности отражающей надстройки в дБА от угла установки $\alpha_{уст}$. Расстояние между экраном и расчетной точкой составляет 36,5 м. Результаты представлены для экрана, расположенного на расстоянии 1 и 3 м от источника звука.

Обсуждение. Изолинии, представленные на рис. 3 показывают, что уровни звукового давления на среднегеометрической частоте 63 Гц в области за экраном без надстройки и за экраном с надстройкой практически не различаются. Увеличение акустической эффективности экрана при установке надстройки составляет примерно 0,2...0,5 дБ, что сопоставимо с погрешностью расчетов. Определено, что низких среднегеометрических частотах установка надстройки практически не приводит к росту акустической эффективности шумозащитного экрана. Уровни звукового давления на среднегеометрической частоте 2000 Гц (см. рис. 4) в области за экраном без надстройки и за экраном с надстройкой существенно различаются. Акустическая эффективность надстройки в рассматриваемом случае равна 12...14 дБ. Получено, что на высоких среднегеометрических частотах эффективность отражающей надстройки может составлять более 10 дБ.

Анализ результатов показывает, что вследствие интерференции звуковых волн акустическая эффективность отражающей надстройки в расчетных точках, расположенных на близком расстоянии от экрана, может существенно изменяться. Начиная с некоторого значения $S_2 > 25$ м, акустическая эффективность надстройки остается постоянной и не изменяется при увеличении расстояния между экраном и расчетной точкой.

Результаты, представленные на рис. 5, показывают, что зависимости акустической эффективности отражающей надстройки длиной 0,5 м от угла установки имеют немонотонный характер. Наибольшая акустическая эффективность отражающей надстройки для расчетной точки, расположенной на расстоянии 36,5 м от экрана, наблюдается при углах установки $\alpha_{уст} = 45^\circ; 225^\circ$. При расстоянии от источника звука до экрана 1 м (см. рис. 5, а) акустическая эффективность отражающей надстройки с углом установки $\alpha_{уст} = 45^\circ$ составляет 6,7 дБА, а с углом установки $\alpha_{уст} = 225^\circ$ — 4,7 дБА. При увеличении расстояния между источником звука и экраном до 3 м

(см. рис. 5 б) акустическая эффективность отражающей надстройки с углом установки $\alpha_{уст} = 45^\circ$ равна 2,7 дБА, а с углом установки $\alpha_{уст} = 225^\circ$ — 2,8 дБА. При других углах установки акустическая эффективность надстройки ниже и изменяется в пределах от 0,0 до 3,5 дБА (при расстоянии между источником звука и экраном 1 м) и в пределах от 0,0 до 2,1 дБА (при расстоянии между источником звука и экраном 3 м). Стоит отметить, что во всех случаях наименьшей эффективностью обладает надстройка с углами установки $\alpha_{уст} = 180^\circ; 315^\circ$. Использование надстройки с углом установки $\alpha_{уст} = 180^\circ$ приводит к увеличению акустической эффективности экрана примерно на 0,8 дБА при расстоянии от источника звука до экрана 1 и 3 м. Использование надстройки с углом установки $\alpha_{уст} = 315^\circ$ не приводит к увеличению акустической эффективности экрана. Эффективность надстройки составляет 0,0 дБА при расстоянии от источника звука до экрана 1 и 3 м.

Заключение. В ходе работы получены следующие основные результаты:

Показано, что на низких среднегеометрических частотах установка отражающей надстройки практически не приводит к росту акустической эффективности шумозащитного экрана высотой 3 м. На высоких среднегеометрических частотах эффективность надстройки может составлять более 10 дБ.

Определено, что зависимости акустической эффективности отражающей надстройки длиной 0,5 м от угла установки имеют немонотонный характер. Определено, что наиболее целесообразным при расстоянии между источником звука и экраном до 3 м является использование отражающей надстройки с углами установки $\alpha_{уст} = 45^\circ; 225^\circ$ (эффективность может составлять 2,7...6,7 дБА в зависимости от расстояния между источником звука и экраном и угла установки надстройки).

Определено, что наименьшей эффективностью (0,0...0,8 дБА) обладает отражающая надстройка с углами установки $\alpha_{уст} = 180^\circ; 315^\circ$.

Список источников

- [1] Иванов Н.И. *Защита от шума и вибрации*. Санкт-Петербург, Из-во «НИЦ АРТ», 2017, 268 с.
- [2] Тупов В.Б. *Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду*. Москва, Издательский дом МЭИ, 2012, 284 с.
- [3] Тупов В.Б., Тараторин А.А., Скворцов В.С., Мухаметов А.Б. Санитарно-защитные зоны по фактору шума современных ТЭС. *Электрические станции*, 2022, № 3 (1088), с. 38–42. <https://doi.org/10.34831/EP.2022.1088.3.005>
- [4] Ishizuka Takashi, Fujiwara Kyoji. Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. *Applied Acoustics*, 2004, vol. 65, № 2, pp. 125–141. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2003.08.006>
- [5] Комкин А.И., Мусаева Р.Н. Особенности уменьшения уровня звука экранами Т-образного профиля. *Акустический журнал*, 2023, т. 69, № 6, с. 756–764.
- [6] Тупов В.Б., Мухаметов А.Б. Исследование акустических экранов с антидифрактором для снижения шума энергетического оборудования. *Теплоэнергетика*, 2024, № 9, с. 92–101. <https://doi.org/10.56304/S0040363624700218>