

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ С АНТИДИФРАКТОРОМ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ¹

© 2024 г. В. Б. Тупов^a, *, А. Б. Мухаметов^a

^aНациональный исследовательский университет “Московский энергетический институт”,
Красноказарменная ул., д. 14, Москва, 111250 Россия

*e-mail: TupoVB@mail.ru

Поступила в редакцию 09.04.2024 г.

После доработки 24.04.2024 г.

Принята к публикации 25.04.2024 г.

Для снижения шума энергетического оборудования используются акустические экраны. Чтобы повысить их эффективность, устанавливают антидифрактор, который является надстройкой на верхней кромке экрана. Для исследования акустических свойств антидифрактора в программе COMSOL Multiphysics построена математическая модель экрана высотой 3 м. Выполнена верификация математической модели экрана без антидифрактора расчетным методом Курце. Исследованы акустические характеристики надстройки в виде антидифрактора. Определено, что акустическая эффективность антидифрактора зависит как от положения относительно верхней кромки экрана, так и от расстояния от источника шума до экрана. Результаты расчетов показывают, что наибольшие изменения уровней звукового давления при установке антидифрактора наблюдаются на высоких частотах, а минимальные — на низких. Акустическая эффективность антидифрактора на среднегеометрических частотах, соответствующих низким частотам, составляет примерно 1–2 дБ, а на среднегеометрических частотах, соответствующих высоким частотам, может достигать до 25 дБ. Исследованы акустические характеристики антидифрактора с разными углами установки. Показано, что при расстоянии от источника шума до экрана до 2 м наибольшей акустической эффективностью (8–10 дБА) обладает антидифрактор с углом установки 0°. При расстояниях от 2 до 5 м наибольшая акустическая эффективность (4–8 дБА) наблюдается при использовании антидифрактора с углом установки 90°. Использование антидифрактора с углом установки 180° целесообразно при расположении экрана рядом с расчетной точкой при расстоянии от экрана до нее менее 5 м. Показано, что при установке антидифрактора достигается значительно больший акустический эффект, чем при увеличении высоты экрана. Полученные в процессе исследований результаты рекомендуются учитывать при реализации мер по шумоглушению при выборе места размещения акустического экрана с антидифрактором относительно источника шума и расчетной точки.

Ключевые слова: энергетическое оборудование, снижение шума, акустические экраны, антидифрактор, шумоглушение, расчетная точка, угол установки, акустическая эффективность, математическая модель, граничные условия

DOI: 10.56304/S0040363624700218

Шум является одним из факторов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, и меры борьбы с ним предусмотрены в [1, 2]. В [3] определены допустимые уровни шума в жилых и общественных помещениях, на территории жилой застройки и на границе санитарно-защитных зон промышленных объектов. Кроме этого, в [3, 4] приводятся отдельные нормы для источников постоянного и непостоянного шума. Допустимые значения на границе санитарно-защит-

ных зон в зависимости от времени суток впервые были регламентированы в [3]. Последний фактор особенно важен для энергетических объектов с непрерывным циклом работы.

При близком расположении энергообъектов (ТЭЦ, районных тепловых станций, котельных, трансформаторных подстанций) к жилой территории нередко фиксируется превышение действующих санитарных норм по уровню шума. В этих случаях акустическими расчетами определяется требуемое снижение шума от каждого источника, а затем разрабатываются меры по шумоглушению.

Одним из эффективных способов снижения шума является установка акустических экранов

¹ Работа выполнена в рамках проекта “Повышение эффективности мер по снижению шума вентиляторных градиентен” при поддержке гранта НИУ МЭИ на реализацию программы научных исследований “Приоритет 2030: Технологии будущего” в 2022–2024 гг.”.

[5], которые могут использоваться для снижения шумового воздействия не только автотранспорта [6–8], но и энергетического оборудования [9–11]. Способность экрана снижать шум основана на отражении и рассеянии падающих на него звуковых волн, при этом за экраном образуется “звуковая тень”, если его размеры больше длины звуковой волны [8].

Установка надстроек различного типа на верхней кромке экрана дает возможность снизить дифракцию звука и повысить его акустическую эффективность. Однако расчет акустической эффективности экрана по методике, изложенной в [12], не позволяет определить влияние надстроек на эффективность экрана, поэтому возникает необходимость разработать математические и физические модели для исследования их акустических характеристик.

Одним из видов надстроек, устанавливаемых на верхней кромке экрана, является надстройка с антидифрактором. В [8] приведены экспериментальные данные об акустической эффективности антидифрактора, которые показывают, что установка надстройки позволяет увеличить эффективность экрана на 3–5 дБА. При этом расстояние между экраном и расчетной точкой составляет более 25 м.

В настоящее время отсутствуют данные о зависимости акустической эффективности экрана от взаимного расположения антидифрактора, источника шума и расчетных точек. Однако эти факторы имеют большое значение и определяют целесообразное размещение экрана с антидифрактором при разработке мероприятий по снижению шума энергетического оборудования.

В настоящей статье приведены результаты исследования акустической эффективности надстройки в виде антидифрактора и проанализировано влияние расстояния, на котором расположены антидифрактор, источник шума и расчетные точки относительно экрана, на его акустическую эффективность. Анализ проведен на основе результатов математического моделирования в программе COMSOL Multiphysics.

ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Для исследования акустических свойств антидифрактора в программе COMSOL Multiphysics построена математическая 2D-модель тонкого экрана бесконечной длины с антидифрактором в виде надстройки (рис. 1). Акустический домен (расчетная область) представляет собой окружность диаметром 80 м. В расчете моделируется распространение воздушного шума внутри акустического домена. Для этого задаются плотность воздуха 1.2 кг/м^3 и скорость звука в воздухе 343 м/с .

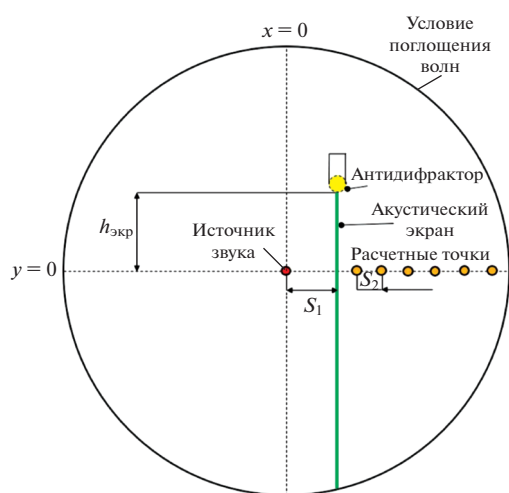


Рис. 1. Математическая модель экрана

Источник звуковых волн расположен в центре координат, и с помощью граничного условия задан монопольный точечный источник. Акустический экран моделируется как акустическая жесткая стенка. На границах акустического домена задано условие поглощения волн, в соответствии с которым предполагается отсутствие отражения звуковых волн от границы окружности обратно в домен. Акустические свойства опорной поверхности и дифракция с боковых кромок экрана в модели не учитываются. Расстояние между источником шума и экраном S_1 изменяется от 1 до 7 м. Расчетные точки расположены за экраном с шагом $S_2 = 0.1 \text{ м}$. Высота экрана составляет $h_{\text{экр}} = 3 \text{ м}$.

Расчеты проводились в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31.5–2000 Гц. Выбор частотного диапазона определялся существующими нормами, которые представлены в [3]. Размер элементов сетки выбран по рекомендациям [13, 14], согласно которым необходимо принимать пять элементов на длину волны. Минимальная длина волны определялась среднегеометрической частотой 2000 Гц.

Антидифрактор представляет собой цилиндр диаметром 0.5 м, заполненный звукопоглощающим материалом (рис. 2). В статье рассмотрено различное расположение антидифрактора относительно верхней кромки экрана. При угле установки $\alpha_{\text{уст}} = 0^\circ$ антидифрактор обращен в сторону источника шума, при $\alpha_{\text{уст}} = 180^\circ$ — в сторону расчетной точки, при $\alpha_{\text{уст}} = 90^\circ$ надстройка расположена на верхней кромке экрана.

Акустические свойства материала описаны с помощью эмпирической модели Делани — Базли. Модель применима для волокнистых материалов пористостью близкой к 1.0 [15]. Основным показателем, характеризующим акустические свойства материала, является сопротивление продуванию

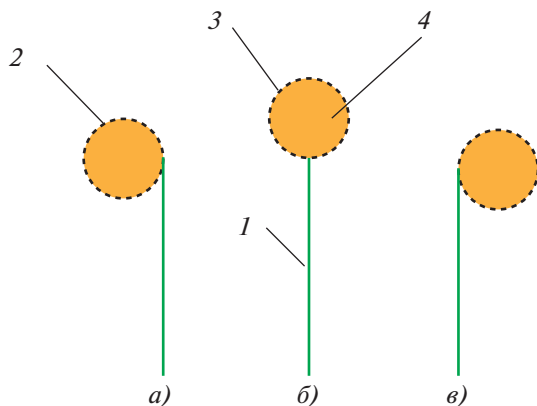


Рис. 2. Углы установки $\alpha_{уст}$ антидифрактора. 1 – экран; 2 – перфорированный лист; 3 – антидифрактор; 4 – звукопоглощающий материал. $\alpha_{уст}$, град: а – 0; б – 90; в – 180

R_f , которое вычисляется по следующей эмпирической формуле [16, 17]:

$$R_f = \frac{C_1 \rho^n}{d^2}, \quad (1)$$

где C_1, n – константы, зависящие от свойств материала; d – средний диаметр волокон, м; ρ – плотность звукопоглощающего материала, находящегося под давлением, кг/м³.

В качестве звукопоглощающего материала антидифрактора рассмотрена минеральная вата плотностью 30 кг/м³. Сопротивление продуванию материала принято в соответствии с данными, приведенными в [18], и составляет 10 кПа · с/м², пористость материала равна 95%. Для защиты звукопоглощающего материала от выдувания в модели предусмотрен перфорированный лист толщиной 2 мм с отверстиями диаметром 10 мм, коэффициентом перфорации 30%, при моделировании которого использовано условие перфорированной тонкой пластины.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

В ходе расчетов была выполнена верификация разработанной математической модели для экрана без надстройки методом Курце, который позволяет определить акустическую эффективность экрана $\Delta L_{экр}$ по следующей формуле [19, 20]:

$$\Delta L_{экр} = 20 \lg \left(\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \right) + 5, \quad (2)$$

где N – число Френеля ($N \geq -0.2$).

Метод применим для оценки акустической эффективности экрана без надстройки при расстояниях от источника шума до экрана не более

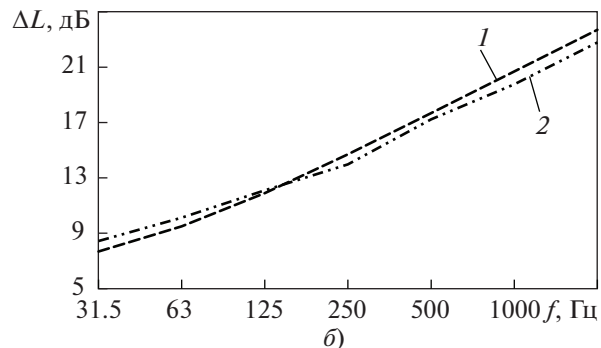
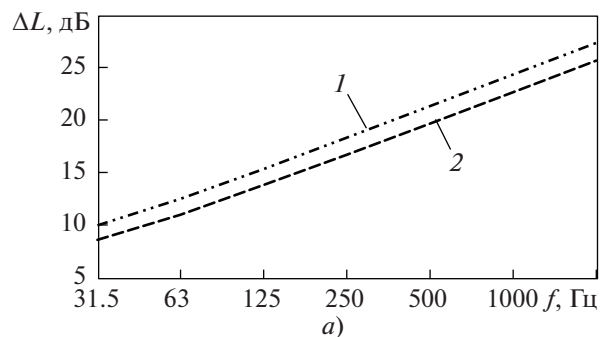


Рис. 3. Зависимость акустической эффективности экрана от частоты звука f при $S_1 = 1$ м (а) и 5 м (б). 1 – расчет по формуле Курце; 2 – результаты моделирования

200 м, что согласуется с разработанной математической моделью.

Акустическую эффективность экрана по результатам математического моделирования вычисляли по формуле

$$\Delta L_{экр} = L_{p,т3} - L_{p,т2}, \quad (3)$$

где $L_{p,т2}, L_{p,т3}$ – уровень звукового давления, дБ, и уровень звука (УЗ), дБА, в расчетной точке при установке экрана без антидифрактора и отсутствии экрана без антидифрактора соответственно.

На рис. 3 представлены результаты математического моделирования и определения акустической эффективности экрана по формуле Курце для расчетной точки, расположенной на расстоянии 25 м от экрана.

Из рисунка следует, что максимальная разность между результатами расчета и моделирования не превышает 2 дБ, что подтверждает возможность использования математических моделей для исследования акустических характеристик экрана с антидифрактором.

Акустическую эффективность антидифрактора $\Delta L_{ант}$ рассчитывали по следующему выражению:

$$\Delta L_{ант} = L_{p,т2} - L_{p,т1}, \quad (4)$$

где $L_{p,т1}$ – уровень звукового давления, дБ, и уровень звука, дБА, в расчетной точке при установке экрана с антидифрактором.

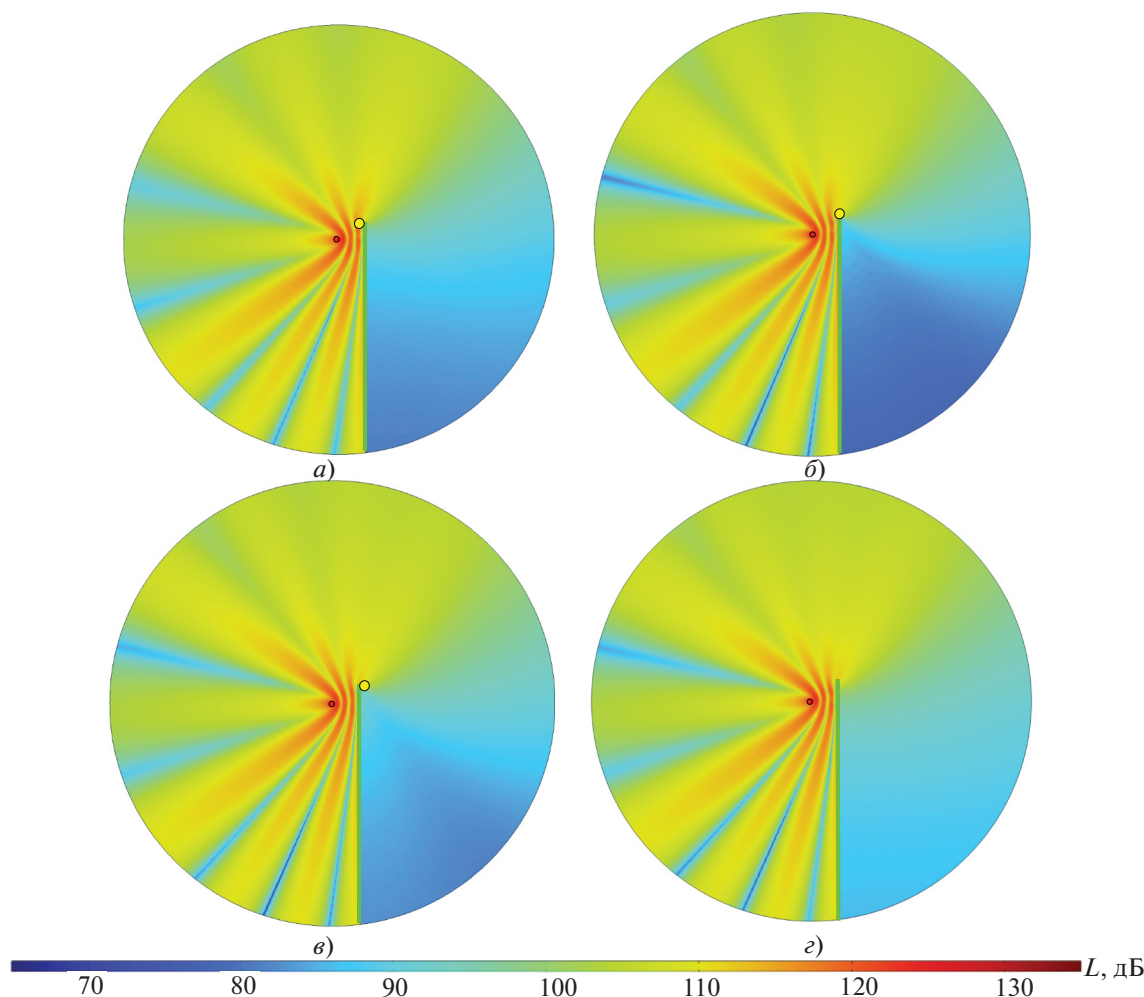


Рис. 4. Изолинии распространения шума на среднегеометрической частоте 63 Гц с использованием антидифрактора (*а–б*) и без его использования (*в–г*).
 $\alpha_{\text{уст}}$, град: *а*– 0; *б*– 90; *в*– 180

В результате выполненных расчетов получены изолинии уровней звукового давления для различных среднегеометрических частот внутри акустического домена. В качестве примера на рис. 4 и 5 представлены изолинии распространения шума на среднегеометрических частотах 63 и 1000 Гц соответственно при использовании антидифрактора диаметром 0,5 м при различных углах его установки. Расстояние от экрана до источника шума составляло 5 м. Для сравнения на рисунках добавлены изолинии уровней звукового давления при размещении экрана без надстройки.

При наличии антидифрактора уровень звукового давления за экраном на среднегеометрических частотах, соответствующих низким частотам, изменяется незначительно по сравнению с уровнем звукового давления за экраном без надстройки. Максимальная разность УЗД за экраном при наличии и отсутствии надстройки на среднегеометрической частоте 63 Гц составляет 1–2 дБ.

На среднегеометрических частотах, соответствующих высоким частотам, за экраном с антидифрактором появляются области с существенно низкими значениями УЗД. При этом протяженность данной области зависит от угла установки антидифрактора. К примеру, на среднегеометрической частоте 1000 Гц максимальная разность УЗД может достигать до 25 дБ. Это объясняется тем, что на высоких частотах вследствие наложения звуковых волн, дифрагированных с верхней кромки антидифрактора, на звуковые волны, прошедшие через звукопоглощающий материал, наблюдается явление интерференции [14]. На низких среднегеометрических частотах отсутствие интерференции можно объяснить тем, что большая часть звуковых волн дифрагируют с верхней кромки надстройки [14].

В качестве примера на рис. 6 для экрана с антидифрактором и без него представлено изменение УЗД на среднегеометрических частотах 31,5–2000 Гц от горизонтальной координаты x

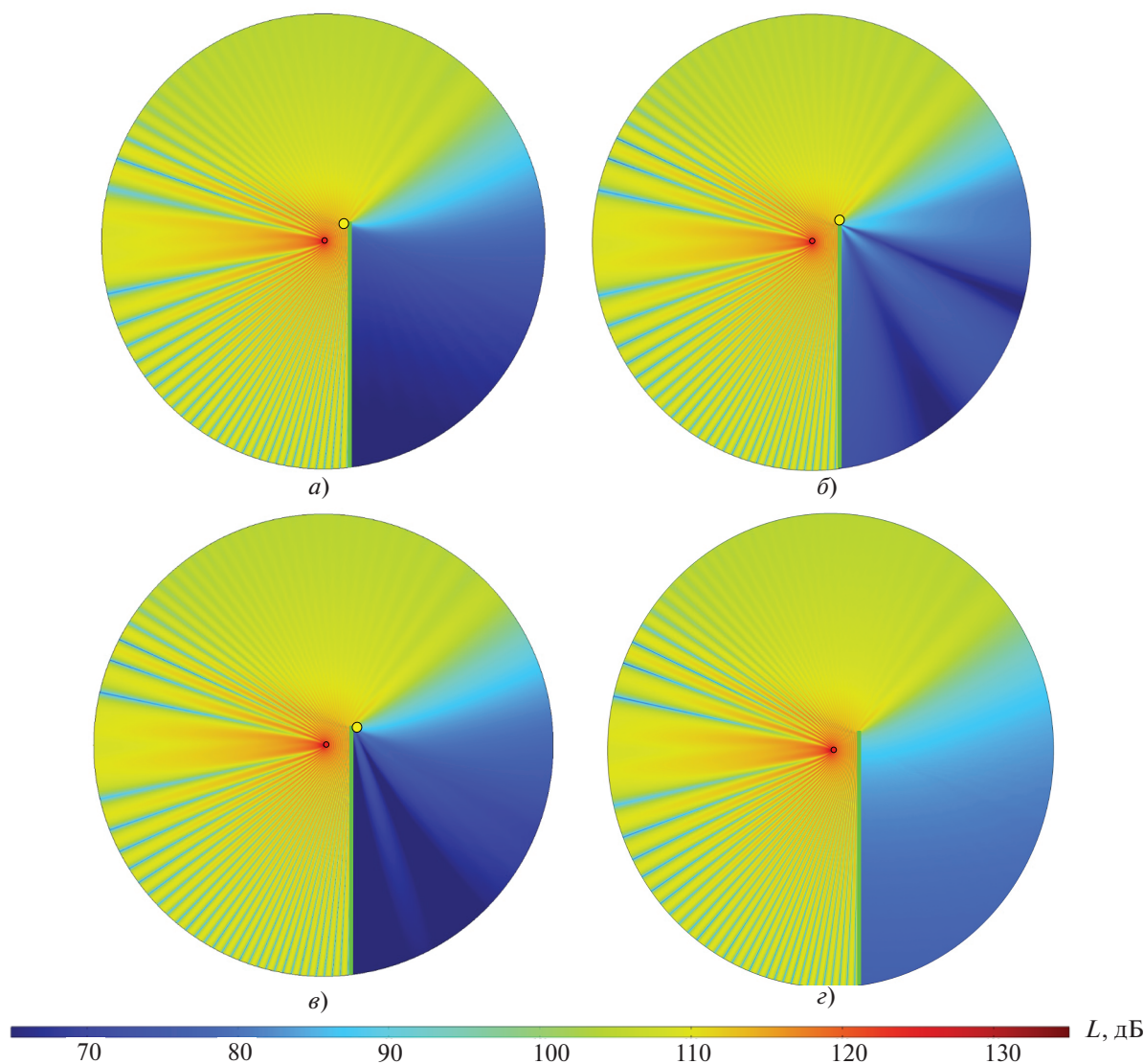


Рис. 5. Изолинии распространения шума на среднегеометрической частоте 1000 Гц с использованием антидифрактора (а–в) и без его использования (з). Обозначения см. рис. 4

(после экрана). Расстояние от источника шума до экрана составляло 5 м.

Из полученных результатов следует, что антидифрактор оказывает влияние на уровень звукового давления за экраном. На среднегеометрических частотах 31.5 и 63 Гц УЗД за экраном при наличии и отсутствии надстройки при увеличении координаты изменяется незначительно. Разность УЗД на данных частотах составляет 1–4 дБ. На среднегеометрической частоте 125 Гц разность УЗД за экраном при наличии и отсутствии надстройки может достигать 3–5 дБ.

В диапазоне среднегеометрических частот от 250 до 2000 Гц разность УЗД может быть существенной. Колебания УЗД зависят от угла установки антидифрактора. При использовании антидифрактора с $\alpha_{уст} = 0$ и 180° колебания наблюдаются

до координаты $x = 5$ м и могут достигать 30 дБ, с $\alpha_{уст} = 90^\circ$ – до координаты $x = 20$ м и могут составлять 20 дБ.

Использование антидифрактора с разным расположением относительно кромки экрана приводит к значительному изменению УЗД за экраном на средних и высоких частотах. Определено, что УЗД на среднегеометрических частотах 31.5–2000 Гц при разном расположении антидифрактора начиная с некоторой координаты уменьшается незначительно при увеличении расстояния от источника шума до расчетной точки.

Полученные результаты позволяют рассчитать акустическую эффективность антидифрактора диаметром 0.5 м при разном его расположении относительно кромки экрана. Расчет был выполнен по формуле (4) для расстояний от источника

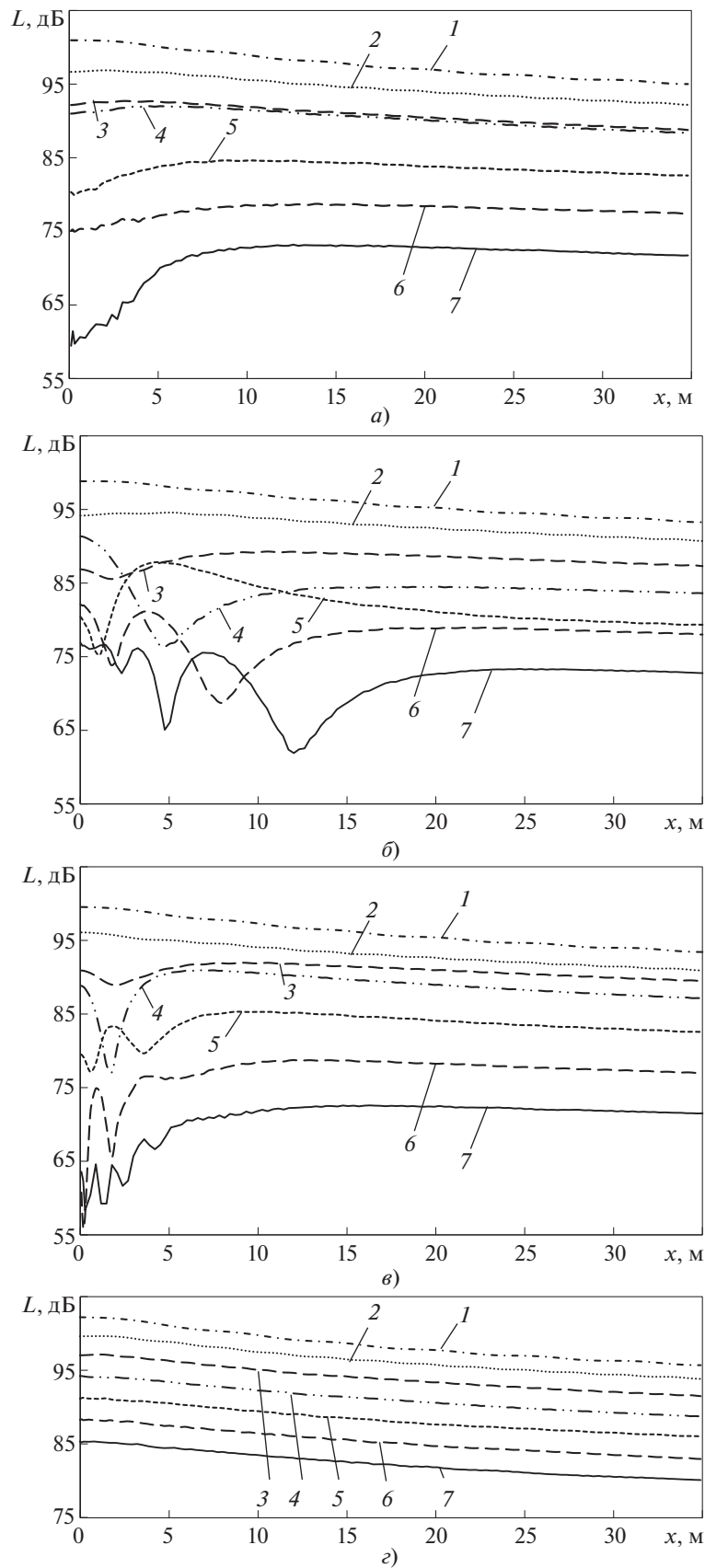


Рис. 6. Уровень звукового давления за экраном с антидифрактором (а–в) и без него (г).
 $\alpha_{\text{уст}}$, град: а – 0; б – 90; в – 180; г, Гц: 1 – 31.5; 2 – 63; 3 – 125; 4 – 250; 5 – 500; 6 – 1000; 7 – 2000

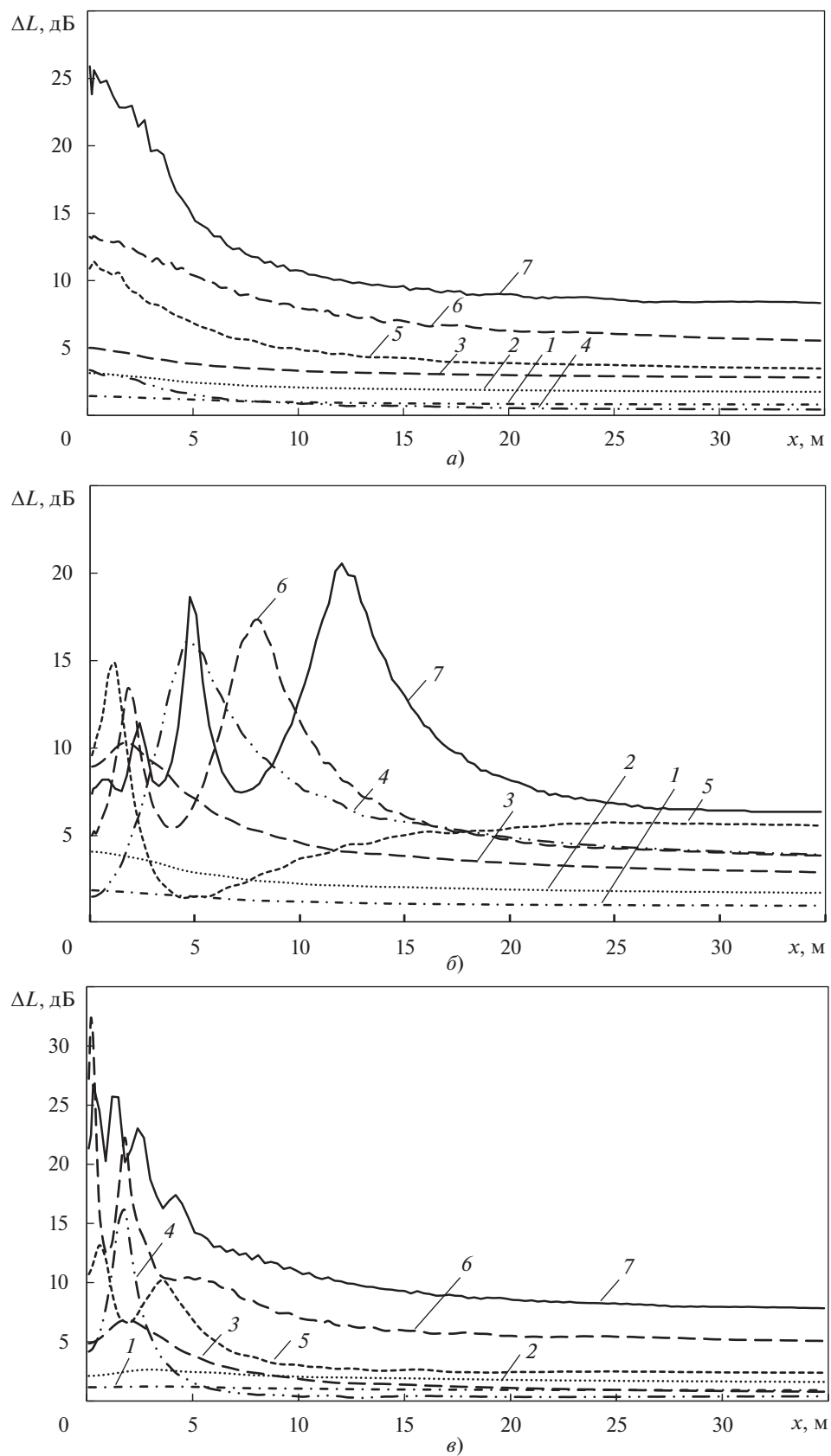


Рис. 7. Акустическая эффективность антидифрактора при $S_1 = 5$ м.
 $\alpha_{уст}$, град: а – 0; б – 90; в – 180; 1–7 – см. рис. 6

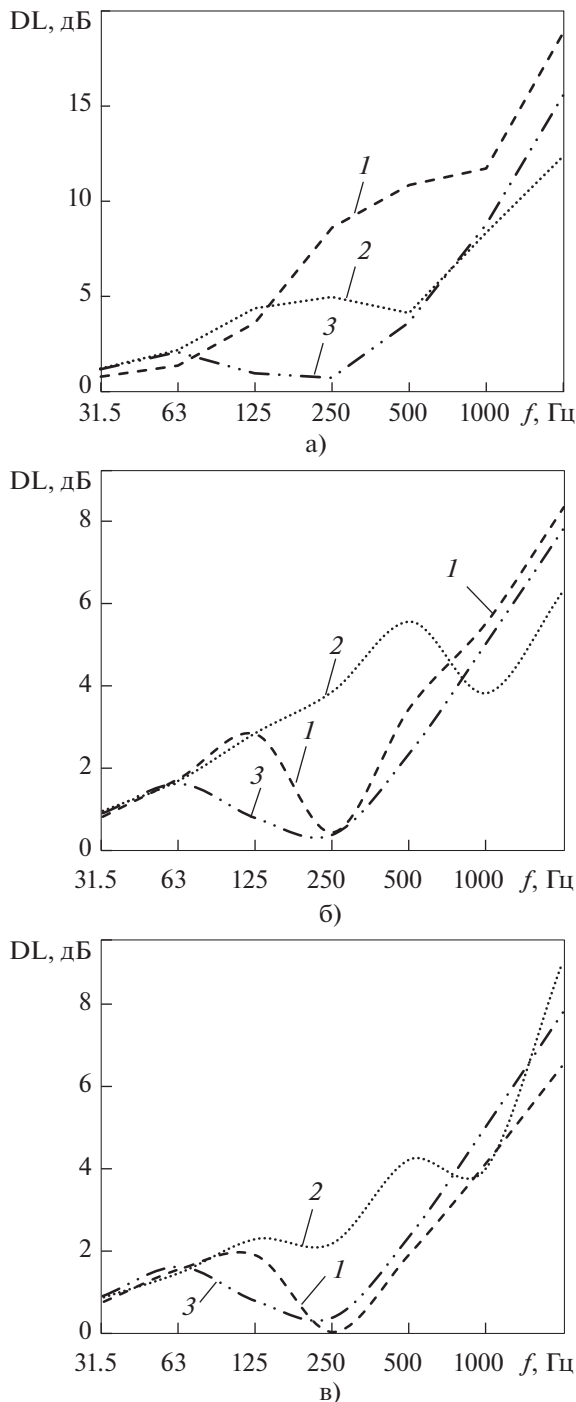


Рис. 8. Акустическая эффективность антидифрактора для расчетной точки на расстоянии 36 м от источника звука.
 S_1 , м: а – 1; б – 5; в – 7; $\alpha_{уст}$, град: 1 – 0; 2 – 90; 3 – 180

шума до экрана 1–7 м. В качестве примера на рис. 7 представлены результаты расчета акустической эффективности надстройки при расстоянии от источника шума до экрана 5 м.

На рисунке видно, что на среднегеометрических частотах 31.5 и 63 Гц акустическая эффектив-

ность антидифрактора с разным углом установки относительно кромки экрана в зависимости от координаты x меняется незначительно и остается практически постоянной (около нуля). При увеличении частоты изменения акустической эффективности надстройки могут быть существенными. Наибольшие изменения наблюдаются на среднегеометрических частотах 1000 и 2000 Гц. При расстоянии от экрана до расчетной точки 20 м и более эффективность антидифрактора, установленного под различными углами, на разных среднегеометрических частотах остается почти постоянной.

На рис. 8 для расстояний S_1 , равных 1, 5, 7 м, представлены значения рассчитанной акустической эффективности антидифрактора для расчетной точки, расположенной на расстоянии 36 м от источника звука.

Во всех случаях на среднегеометрических частотах 31.5 и 63 Гц акустическая эффективность антидифрактора не зависит от угла его установки и расстояния от источника шума до экрана и равна 1–2 дБ.

При расстоянии от источника шума до экрана 1 м на среднегеометрической частоте 125 Гц большей акустической эффективностью (3–4 дБ) обладает антидифрактор с углами установки 0 и 90°. На среднегеометрических частотах 250–2000 Гц наибольшая акустическая эффективность отмечается у антидифрактора с $\alpha_{уст} = 0^\circ$. Эффективность на данных частотах изменяется от 8 до 19 дБ.

При расстоянии от источника шума до экрана 5 м на среднегеометрических частотах 125–500 Гц большей акустической эффективностью (2–5 дБ) обладает антидифрактор с $\alpha_{уст} = 90^\circ$. На среднегеометрических частотах 1000–2000 Гц наибольшая акустическая эффективность (7–8 дБ) наблюдается при использовании антидифрактора с углами установки 0 и 180°.

При расстоянии от источника шума до экрана 7 м на среднегеометрических частотах 125–500 и 2000 Гц большей акустической эффективностью (2–4 и 9 дБ соответственно) обладает антидифрактор с $\alpha_{уст} = 90^\circ$. На среднегеометрической частоте 1000 Гц акустическая эффективность антидифрактора с разными углами установки примерно одинакова и составляет около 4 дБ.

Отдельно была рассчитана акустическая эффективность антидифрактора, дБА, по известной формуле [9]:

$$\Delta L_{ант} = 10 \lg \left[\sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_i + \Delta K)} \right], \quad (5)$$

где L_i – уровень звукового давления в дальней области на среднегеометрических частотах 31.5–2000 Гц, дБ; ΔK – корректирующие поправки на среднегеометрических частотах 31.5–2000 Гц.

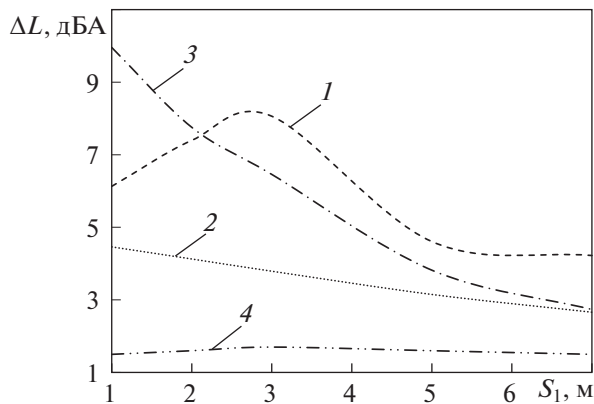


Рис. 9. Зависимость акустической эффективности антидифрактора от расстояния S_1 .
1–3 – см. рис. 8; 4 – $\Delta h = 0.5$ м

Результаты расчетов представлены в таблице и на рис. 9. Для сравнения приведены значения акустической эффективности антидифрактора без надстройки при увеличении его высоты Δh на 0.5 м.

Результаты, полученные для антидифрактора с $\alpha_{уст} = 90^\circ$ при расстояниях $S_1 = 5$ и 7 м, согласуются с данными работы [21], в которой указано, что эффективность надстройки при расстоянии $S_1 > 5$ м без учета свойств опорной поверхности может составлять 4.0–4.4 дБА.

Наибольшей эффективностью при близком расположении экрана к источнику шума (до 2 м) обладает антидифрактор с $\alpha_{уст} = 0^\circ$. Акустическая эффективность антидифрактора при увеличении S_1 от 1 до 2 м уменьшается от 10.0 до 7.8 дБА. При увеличении S_1 от 2 до 7 м эффективность надстройки уменьшается с 6.5 до 2.7 дБА.

При расстояниях от источника шума до экрана более 2 м максимальной эффективностью обладает антидифрактор с $\alpha_{уст} = 90^\circ$. Акустическая эффективность антидифрактора при увеличении S_1 с 3 до 7 м уменьшается от 8.1 до 4.2 дБА. При $S_1 = 1$ и 2 м эффективность антидифрактора равна 6.1 и 7.4 дБА соответственно.

Минимальной акустической эффективностью обладает антидифрактор с $\alpha_{уст} = 180^\circ$. Использование антидифрактора с таким углом установки мо-

жет быть целесообразно при расположении экрана рядом с расчетной точкой (расстояние от экрана до расчетной точки должно быть менее 5 м).

На рис. 9 видно, что увеличение высоты экрана на 0.5 м (диаметр антидифрактора) приводит к росту акустической эффективности экрана только на 1.5–1.9 дБА. Поэтому использование антидифрактора дает значительно больший акустический эффект, чем увеличение высоты экрана на 0.5 м.

Полученные результаты следует учитывать при реализации мер по шумоглушению, особенно при размещении акустического экрана с антидифрактором относительно источника шума и расчетной точки [22].

ВЫВОДЫ

1. Для снижения шума в энергетике широкое применение нашли акустические экраны, акустическую эффективность которых можно повысить с помощью надстроек в виде антидифрактора.

2. Наибольшие изменения уровней шума обеспечивает антидифрактор на высоких частотах, минимальные — на низких частотах. Акустическая эффективность за экраном с надстройкой на низких частотах составляет 1–4 дБ, на высоких среднегеометрических частотах она может достигать 39 дБ.

3. При расстоянии от источника шума до экрана менее 2 м наибольшей акустической эффективностью (8–10 дБА) обладает антидифрактор с углом установки 0° .

4. При расстоянии от источника шума до экрана в пределах от 7 до 2 м наибольшая акустическая эффективность (4–8 дБА) наблюдается при использовании антидифрактора с углом установки 90° .

5. Использование антидифрактора с углом установки 180° целесообразно при расположении экрана рядом с расчетной точкой при расстоянии от нее до экрана менее 5 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федеральный закон РФ № 7-ФЗ** от 10.01.2002 “Об охране окружающей среды”.
2. **Федеральный закон РФ № 96-ФЗ** от 04.05.1999 “Об охране атмосферного воздуха”.
3. **СанПин 1.2.3685–21.** Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Минюст России, 2021.
4. **СП 51.133320.2011.** Защита от шума. М.: Минстрой России, 2022.
5. **ИТС-38-2022.** Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. М.: Росстандарт, 2022.
6. **Иванов Н.И., Балишанская Л.Г., Дроздова Л.Ф.** Техническая акустика транспортных машин:

Акустическая эффективность экрана, дБА

Показатель	S_1 , м				
	1	2	3	5	7
$\alpha_{уст}$, град:					
0	10.0	7.8	6.5	3.8	2.7
90	6.1	7.4	8.1	4.6	4.2
180	4.5	4.1	3.8	3.1	2.7
$\Delta h = 0.5$ м	1.5	1.7	1.7	1.9	1.7

- справ. / под ред. Н.И. Иванова. СПб.: Политехника, 1992.
7. **Основы** проектирования транспортных шумозащитных экранов: учеб. для вузов / И.Л. Шубин, И.Е. Цукерников, Н.И. Николов, А. Писарски. М.: Изд. дом “Бастет”, 2015.
<https://www.labirint.ru/books/626221/>.
 8. **Иванов Н.И., Пашурин А.Е.** Защита от шума и вибрации. М.: Печатный цех, 2019.
 9. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
 10. **Тупов В.Б.** Комплекс мероприятий по снижению шума от ТЭС // Электрические станции. 2013. № 3. С. 26–31.
 11. **Акустические** экраны для снижения шума от энергетического оборудования / В.Б. Тупов, С.А. Семин, Б.В. Тупов, А.А. Тараторин, Д.А. Розанов // Электрические станции. 2016. № 10. С. 48–52.
 12. **ГОСТ 31295.2-2005 (ISO 9613-2:1996).** Межгосударственный стандарт. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета. М.: Стандартинформ, 2023.
 13. **Saliunas D., Volkovas V.** Investigation of noise barriers enhancement efficiency for attenuation of low frequency traffic noise // Mechanika. 2015. V. 21. No. 1. P. 56–63.
 14. **Numerical** study of noise barrier designs / S.M.B. Fard, N. Kessissoglou, S. Samuels, M. Burgess // Proc. of the Acoustics 2013: Science, Technology and Amenity. Victor Harbor, Australia, 17–20 Nov. 2013. P. 1–4.
 15. **Delany M.E., Bazley E.N.** Acoustical properties of fibrous absorbent materials // Appl. Acoustics. 1970. No. 3. P. 105–116.
 16. **A study** on airflow resistivity models for multi-component polyester fiber assembly / T. Yang, R. Mishra, K.V. Horoshenkov, A. Hurrell, F. Saati, X. Xiong // Appl. Acoustics. 2018. V. 139. P. 75–81.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.04.023>
 17. **Xiaoning Tang, Xiong Yan.** Airflow resistance of acoustical fibrous materials: Measurements, calculations and applications // J. Industrial Textiles. 2020. V. 49. No. 8. P. 981–1010.
 18. **ГОСТ 31328-2006 (ISO 14163:1998).** Межгосударственный стандарт. Руководство по снижению шума глушителями. М.: Стандартинформ, 2018.
 19. **СП 276.1325800.2016.** Свод правил. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. М.: Минстрой России, 2016.
 20. **Безверхая Е.А., Чеботарева Е.Ю.** Анализ методик расчета эффективности шумозащитных экранов // Noise. Theory and Practice. 2018. V. 4. No. 2. С. 30–39.
 21. **Ishizuka Takashi, Kyoji Fujiwara.** Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions // Appl. Acoustics. 2004. V. 65. Is. 2. P. 125–141.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2003.08.006>
 22. **Пат. 220476 РФ.** Устройство для снижения шума от оборудования / В.Б. Тупов, А.Б. Мухаметов // Б.И. 2023. № 26.

Study of Acoustic Screens with an Antidiffractor for Reducing the Noise of Power Equipment

V. B. Tupov^{a,*} and A. B. Mukhametov^a

^a National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, 111250 Russia

*e-mail: Tupovvb@mail.ru

Abstract—Acoustic screens are used to reduce the noise of power equipment. To increase their efficiency, an antidiffractor is installed, which is an add-on on the top edge of the screen. To study the acoustic properties of the antidiffractor, a mathematical model of a 3-m high screen was built in the COMSOL Multiphysics program. The mathematical model of the screen without an antidiffractor was verified using the Kurze calculation method. The acoustic characteristics of a superstructure in the form of an antidiffractor have been studied. It has been determined that the acoustic efficiency of the antidiffractor depends both on the position relative to the upper edge of the screen and on the distance from the noise source to the screen. The calculation results show that the greatest changes in sound pressure levels when installing an antidiffractor are observed at high frequencies, and the minimum at low frequencies. The acoustic efficiency of the antidiffractor at geometric mean frequencies corresponding to low frequencies is approximately 1–2 dB and it can reach up to 25 dB at geometric mean frequencies corresponding to high frequencies. The acoustic characteristics of an antidiffractor with different installation angles have been studied. It has been shown that the antidiffractor with an installation angle of 0° has the highest acoustic efficiency (8–10 dBA) at a distance from the noise source to the screen of up to 2 m. At distances from 2 to 5 m, the highest acoustic efficiency (4–8 dBA) is observed when using an antidiffraction device with an installation angle of 90°. Using an antidiffractor with an installation angle 180° is advisable when the screen is located next to the design point at a distance from the screen to it of less than 5 m. When installing an antidiffraction device, a significantly greater acoustic effect is achieved than when increasing the height of the screen. The results obtained during the research are recommended to be taken into account when implementing noise reduction measures when choosing the location of an acoustic screen with an antidiffractor relative to the noise source and the design point.

Keywords: power equipment, noise reduction, acoustic screens, antidiffractor, noise attenuation, design point, installation angle, acoustic efficiency, mathematical model, boundary conditions