

Калиниченко М.В., Федосеева Е.В., Булкин В.В.
 Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
 учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
 имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23

Методика расчёта акустических экранов при наличии плоских антидифракторов

Для борьбы с шумом, проникающим в жилые зоны, применяют разнообразные средства, начиная от требований по снижению уровня шума в самом источнике и заканчивая удалением этого источника на безопасное расстояние. Одним из таких широко распространённых средств является акустический экран (АЭ), являющийся преградой на пути распространения шума и позволяющий существенно снизить уровень звукового давления (УЗД) в конкретной точке городской среды.

Применение АЭ широко практикуется в разных странах [1,2]. Но при всех достоинствах акустические экраны не лишены недостатков с точки зрения применения их в условиях городской застройки, например, в силу габаритных размеров, поскольку во многих случаях для повышения эффективности функционирования экрана и снижения УЗД в зоне акустической тени требуется увеличение его габаритных размеров, например – высоты [3].

Для повышения эффективности защиты применяются дополнительные элементы, снижающие уровень дифракции на верхней кромке экрана – антидифракторы (АД) или навесные элементы, выполненные как в виде односторонних или двухсторонних полок (козырьков), так и в виде протяжённой звукопоглощающей конструкции. Такие надстройки позволяют увеличить эффективность АЭ на 3-6 дБ [4].

В докладе рассматриваются методические принципы оценки эффективности снижения уровня шума в зоне акустической тени при использовании шумозащитного экрана с АД (навесными элементами) в виде односторонней полки (козырька Г-образной формы), наклонённой в сторону зоны акустической тени [5].

В настоящее время расчёты акустических экранов основываются на работах японского исследователя З. Маекавы [6], который применил идеи теории дифракции к экранам различной формы. Предложенное З. Маекавой простое соотношение для расчёта полубесконечных экранов, расположенных в свободном пространстве при ненаправленном источнике звука, основано на учёте числа Френеля N и расстояний между источником шума (ИШ) и верхней кромкой АЭ – A ; расчётной точкой (РТ) и верхней кромкой АЭ – B ; между ИШ и РТ – d

$$\Delta L = 10 \lg(20N), \text{ дБ}, \quad (1)$$

где $N = \frac{2\delta}{\lambda}$; δ – разность хода волны ($\delta = A + B - d$); λ – длина звуковой волны.

Предложенный З. Маекавой метод расчёта широко применяется для оценки эффективности АЭ, установленных в свободном пространстве (при небольших углах дифракции). На основе этого подхода разработан ряд методик анализа акустических экранов.

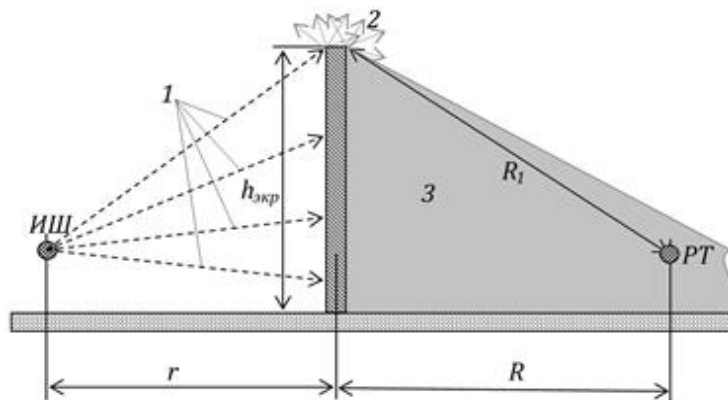


Рис.1 Схема акустического экрана для точечного ИШ

При рассмотрении энергетических характеристик и звукового сигнала, падающего на АЭ, исходят из предположений, что (рис.1): а) звуковая волна 1 падает на лицевую поверхность АЭ; б) по мере увеличения высоты АЭ интенсивность звука равномерно уменьшается; в) опорная поверхность между (ИШ) и АЭ обладает звукопоглощающими

свойствами; г) на верхнем ребре АЭ акустическая волна дифрагирует 2, частично рассеиваясь, частично проходя в зону акустической тени 3.

Соотношение для оценки акустической эффективности отражающе-поглощающего АЭ для точечного ИШ [9,16] имеет вид

$$\Delta L_{\text{экp}} = 10\lg \frac{r^2 R}{(R+r)^2 r_0} + 10\lg \frac{h_{\text{экp}}}{\lambda} + 10\lg \frac{1}{\beta_{\text{экp}}} - 10\lg(1 - \alpha_{\text{пов}}) - 10\lg(1 - \alpha_{\text{экp}}) - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2R} + 10\lg 2\pi^2, \text{ дБ.} \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{пов}}$ – коэффициент звукопоглощения опорной поверхности; r – расстояние от ИШ до АЭ, м; $l_{\text{экp}}$ – длина АЭ, м; $h_{\text{экp}}$ – высота АЭ, м; $\alpha_{\text{экp}}$ – частотно-зависимый коэффициент звукопоглощения акустических панелей, составляющих АЭ; $\beta_{\text{дифр}}$ – коэффициент дифракции, определяемый отношением интенсивности звука, дифрагирующего за АЭ, к интенсивности падающего звука; λ – длина звуковой волны, м; $r_0 = h_{\text{ИШ}} = 1\text{ м}$.

В данной методике выражение для оценки эффективности акустического экрана построено на принципе сравнения амплитудных зависимостей интенсивности звуковой волны, создаваемой двумя источниками: точечным источником в свободном пространстве и вторичным источником цилиндрической волны – ребром экрана. Такой аналитический подход показывает слабую зависимость от расстояния между РТ и экраном. При этом нужно учитывать и то, что изменение расстояния между ребром надстройки и РТ связано с изменением угла дифракции, и, как следствие, с изменением коэффициента дифракции. В случае применения навеса (антидифрактора) эти влияния будут проявляться ещё существеннее.

В докладе предлагается рассмотреть данную зависимость по аналогии с методом 3. Маскавы через сравнение путей распространения исходной звуковой волны. С этой целью принято, что путь волны в расчётную точку состоит из двух участков – АF (ИШ – точка дифракции) и FC (точка дифракции – РТ), а точка их пересечения F (точка дифракции) является местом расположения вторичного источника звуковой волны. Для случая установки АД на верхнем ребре АЭ с ориентацией в сторону зоны акустической тени это будет иметь вид рис.2.

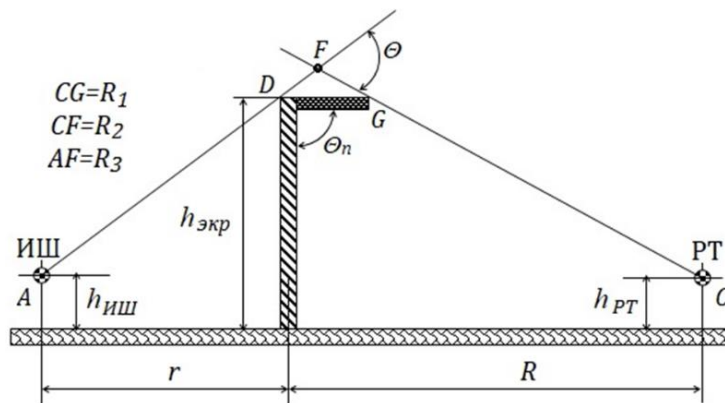


Рис.2 Схема акустического экрана для точечного ИШ

В целом такое размещение АД может предусматривать три варианта: горизонтальное расположение АД, с наклоном вниз и с наклоном вверх. Кроме того, при теоретических оценках эффективности АЭ ведут речь о трёх случаях: точечного источника шума, линейного источника шума и плоского источника шума.

Рассмотрим один из вариантов – случай точечного источника.

При точечном источнике шума (с учётом выше рассмотренных построений) эффективность АЭ с навесным элементом для АД типа панели, ориентированных в направлении зоны акустической тени, равна [7]

$$\Delta L_{\text{экp}} = 10\lg \frac{(r+R)^2}{(R_3+R_2)^2} + 10\lg \frac{h_{\text{экp}}}{\lambda} + 10\lg \frac{b}{\lambda} + 10\lg \frac{1}{\beta} - 10\lg(1 - \alpha_{\text{экp}}) - 10\lg(1 - \alpha_{\text{Ад}}) - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2b} - 10\lg \text{arctg} \frac{l_{\text{экp}}}{2R_1} + 10\lg \pi^3 - 6, \text{ дБ.} \quad (3)$$

Полученное соотношение позволяет дать оценку эффективности АЭ при применении навесных антидифракторов в виде плоской полки. Также очевидно, что применение навесных

антидифракторов, ориентированных в направлении зоны акустической тени, и использование для оценки эффективности АЭ рассмотренного соотношения, меняет характер расчётов. Как видно из рис. 2, при изменении угла наклона навесной полки АД меняется местоположение точки дифракции (точка F), являющейся точкой вторичного излучения. Кроме того, при изменении значений g и R (главным образом R) смещение точки дифракции приводит к изменению величин R_1 , R_2 и R_3 , что, в свою очередь, влияет на изменение угла дифракции θ .

Вывод

Выполненные теоретические построения позволили получить соотношение, учитывающее особенности дифракции акустических волн на верхней грани акустического экрана. Соотношения такого типа позволяют решить задачу аналитической оценки эффективности шумозащитных акустических экранов при установке на их верхнюю грань антидифракторов в виде плоских навесных панелей, ориентированных в сторону акустической тени.

Предложен подход к формированию математической модели расчёта, при котором местом расположения вторичного источника звуковой волны в зоне верхней грани экрана считается точка дифракции, находящаяся на пересечении двух составляющих пути волны в рабочую точку: от источника шума к антидифрактору плоского типа, установленного на верхней грани экрана, и от заднего края антидифрактора к рабочей точке.

Проверка предложенного соотношения должна проводиться сравнением результатов расчётов с экспериментальными данными. Организация таких испытаний является достаточно сложной задачей, выходящей за пределы данной работы.

Также представляется значимым для исследования вопрос влияния на эффективность АЭ коэффициентов звукопоглощения самого экрана ($\alpha_{\text{экp}}$) и навесного антидифрактора ($\alpha_{\text{АД}}$). Их влияние может быть существенным.

Литература

1. Иванов Н.И., Шашурин А.Е. Защита от шума и вибрации. –СПб.: Печатный цех, 2019. - 284 с.
2. Bulkin V.V., Sereda S.N., Kalinichenko M.V. Assessment of the acoustic screen absorbing properties based on the Helmholtz resonator / *Akustika*, vol.32, March 2019. P.201-205.
3. Щадинский А.В. Эффективность применения акустических экранов // Молодой ученый. 2015, №7 (87). - С. 226-233.
4. Тюрина Н.В. Исследование акустических экранов / Сборник трудов XXVII сессии Российского акустического общества, посвященной памяти учёных-акустиков ФГУП «Крыловский государственный научный центр» А.В. Смольякова и В.И. Попкова. -СПб.: 16-18 апреля 2014 г.- С. 1-16.
5. Патент РФ №2567255, E04B1/84, E01F8/00. Способ повышения эффективности шумопоглощающих экранов и шумопоглощающий экран / Булкин В.В., Калининченко М.В. Оpubл.: 10.11.2015, БИПМ №31.
6. Маекава З. Акустические экраны / Снижение шума в зданиях и жилых районах // Под ред. Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина. -М.: Стройиздат, 1987. –С. 426-447.
7. Fedoseeva E.V., Bulkin V.V., Kalinichenko M.V. Technique for estimating the efficiency of noise protective acoustic screens in the presence of flat anti-diffractors / *Akustika*, vol.40 (2021). - P.22-28.