

УДК 534.2

*Заец В.П., мл. научный сотрудник, Котенко С.Г.,
Осипчук Л.Н., Трохименко Н.А., кандидат технических
наук, зав. лаборатории строительной и архитектурной
акустики ГП «НИИСК», Киев*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ КОНЕЧНОЙ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

1. Постановка задачи

Установка шумозащитных экранов является эффективным средством снижения шума. Экраны наиболее часто применяются для снижения шума автотранспортных потоков в виде сплошного забора-стенки, установленного на обочине вдоль автодороги (рис.1).



Рисунок 1 – Шумозащитный экран из поликарбоната в г. Харьков

Основной акустической характеристикой таких экранов является его *эффективность*. Под эффективностью подразумевается разница между уровнями звукового давления до установки экрана и после его установки (1).

$$\Delta L = L_1 - L_2 \quad (1)$$

где L_1 - уровень звукового давления до установки экрана, дБ;

L_2 - уровень звукового давления после установки экрана, дБ;

На сегодняшний день не существует единого способа расчета эффективности экранов, однако подавляющее большинство публикаций наиболее часто упоминают формулу (2) для расчета эффективности экрана, предложенную З. Маекавой на основании экспериментов проведенных во второй половине XX века [1]. Подтверждение этой формулы было получено из теоретических исследований проведенных Келлером [2]:

$$\Delta L = 10 \lg(20N) \quad (2)$$

где $N = \frac{2\delta}{\lambda}$ - число Френеля;

λ - длина звуковой волны в воздухе;

δ - разницу хода луча соединяющего источник звука, верхнюю кромку экрана, расчетную точку и луча источник звука – расчетная точка.

При этом считалось, что экран имеет бесконечную звукоизоляцию, иными словами звуковая волна в зону тени попадает лишь благодаря дифракции через верхнюю кромку экрана (рис.2).

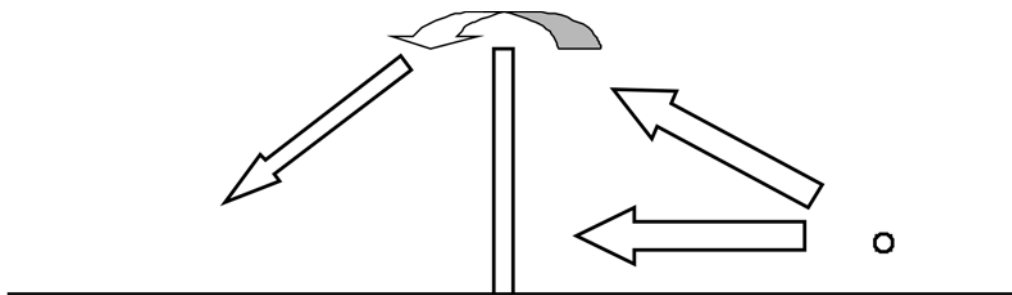


Рисунок 2 – Дифракция звуковой волны через верхнюю кромку экрана

Данное утверждения было справедливо в 60-70-х годах прошлого века, так как шумозащитные экраны-стенки в основном изготавливались из тяжелых материалов (камень, кирпич, бетон), с достаточной толщиной (120-500 мм). Звукоизоляция таких ограждений действительно значительно выше их эффективности, и, следовательно, проникновением звука сквозь тело экрана можно было пренебречь. Однако в последнее время применение легких и тонких листовых материалов для изготовления экранов уже не соответствует высоким требованиям по звукоизоляции [3], что может служить причиной снижения эффективности экрана.

Итак, проблема, рассматриваемая в данной статье, заключается в оценке возможности применения легких тонких материалов для изготовления шумозащитных экранов и влияния их конечной звукоизоляции на эффективность.

2. Постановка числового эксперимента

Для расчета звуковых полей до установки и после установки экрана использован численный метод конечных элементов, реализованный в программе Comsol Multiphysics.

Даная программа позволяет моделировать звуковые поля для различных источников звука и разных материалов. Поскольку рассматривается возможность применения различных материалов для построения шумозащитных экранов для защиты от шума транспортного потока, то источником звука выбран цилиндрический источник в виде тонкого пульсирующего цилиндра. Диаметр цилиндра составил 10 см, что позволяет с одной стороны считать его достаточно малым по сравнению с длиной рассматриваемых волн, с другой – уменьшить количество элементов, а соответственно время и собственно возможность построения акустического поля.

Источник звука расположен над акустически жесткой поверхностью – моделью проезжей части, на высоте 0,3 м. Расстояние по горизонтали до экрана составило 7,5 м. Поскольку, обычно экраны размещают как можно ближе к источнику звука, то данное расстояние выбрано из расчета, что экран находится на обочине дороги с 4-мя полосами движения в обоих направлениях.

Высота всех рассматриваемых экранов составила 5 м. Данная высота наиболее часто встречается при проектировании шумозащитных экранов и является некой средней высотой экранов.

За экраном моделировалась поглощающая поверхность, которая характерна для земли покрытой густой травой или свежим снегом.

В ходе числового эксперимента рассматривались следующие экраны:

- экран из стали толщинами 1 мм, 2 мм, 5 мм;

- экран из литого поликарбоната толщинами 5 мм, 10 мм, 20 мм;
- экраны из кирпича толщиной 125 мм и 250 мм.

Для сравнения полученных результатов за основной был выбран абсолютно жесткий экран с бесконечной звукоизоляцией толщиной 10 мм.

Основными параметрами, влияющими на звукоизоляцию экрана, является плотность материала, толщина и скорость звука:

- сталь: плотность – 7870 кг/м^3 , скорость звука – 5800 м/с ;
- поликарбонат: плотность – 1160 кг/м^3 , скорость звука – 2570 м/с ;
- кирпич: плотность – 2400 кг/м^3 , скорость звука – 2700 м/с ;

Поскольку в данной статье рассматриваются экраны призванные защищать от шума транспортных потоков, то для расчета были выбраны частоты (40 Гц и 125 Гц), лежащие в низкочастотной области, где как раз и находится максимум спектральной плотности мощности транспортного шума [5].

3. Анализ полученных результатов

В результате расчета были получены поля эффективностей экрана различной толщины и материалов. На рисунке 3 приведено поле эффективности абсолютно жесткого экрана высотой 5 м на частоте 125 Гц. Как видно, между источником звука и экраном наблюдается интерференционная картина – резкая смена уровней эффективности. Такая картина объясняется наложением волн идущих от источника звука и волн, отраженных от экрана.

Для количественной оценки эффективности различных экранов рассмотрим изменения эффективности экрана в зависимости от высоты, для точек удаленных на расстоянии 5 м от экрана для частоты 40 Гц (рис. 4,а) и для частоты источника 125 Гц (рис. 4,б).

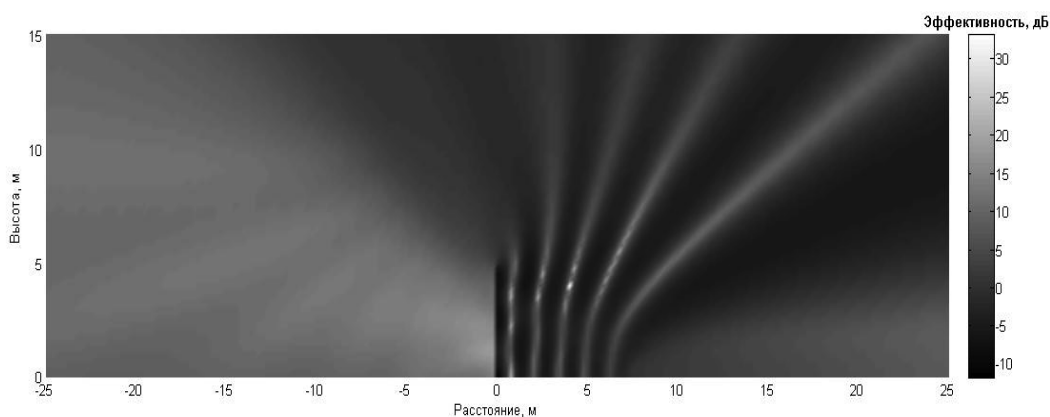
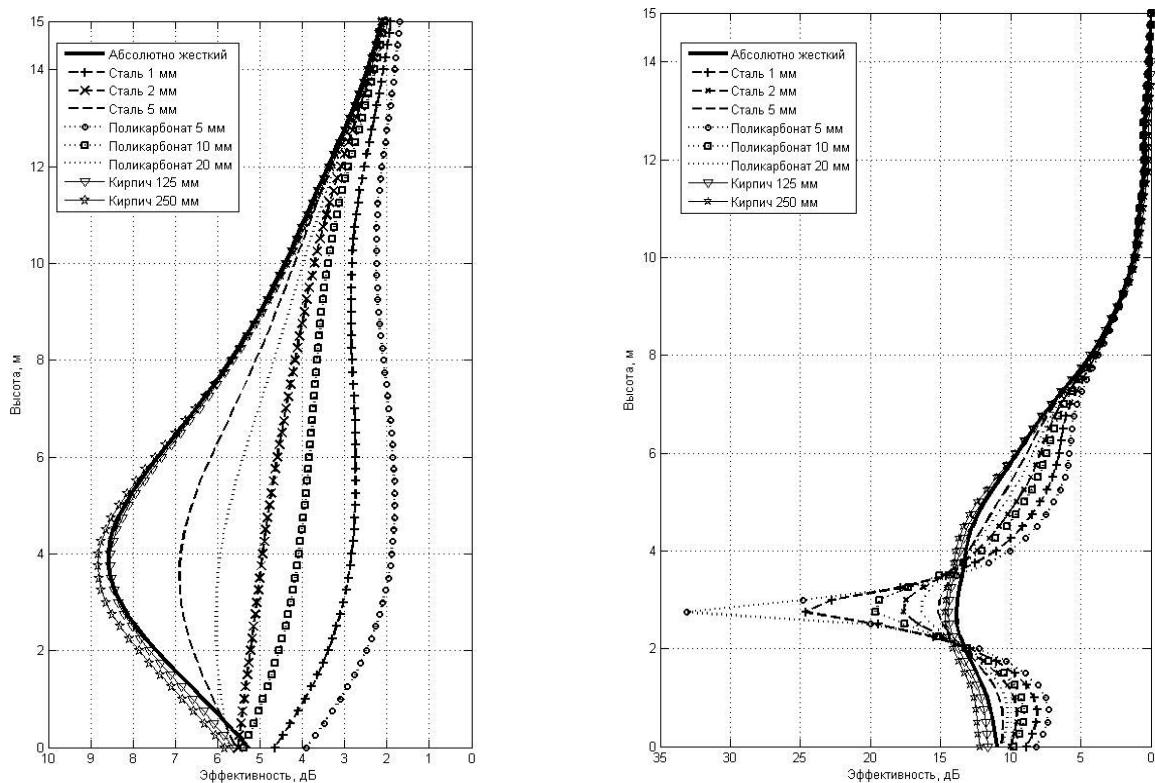


Рисунок 3 – Поле эффективностей экрана высотой 5 м на частоте 125 Гц



а) б)
Рисунок 4 –Эффективность экранов разной конструкции в зависимости от высоты
а) частота 40 Гц; б) частота 125 Гц

Как видно, для низких частот (40 Гц, рис. 4,а) эффективность сильно зависит от выбора материала экрана. Самой низкой эффективностью обладает экран из поликарбоната толщиной 5 мм. При высоте в 5 м его эффективность практически по всей высоте не превышает 2 дБ. С увеличением толщины до 10 мм, эффективность возрастает в среднем на 2 дБ. При еще двукратном увеличении толщины эффективность увеличивается еще на 1,5-2 дБ, однако остается значительно ниже эффективности абсолютно жесткого экрана.

Для листов стали толщинами 1 мм, 2 мм и 5 мм закономерность изменения эффективности экрана аналогична, однако по абсолютным значениям эта эффективность в среднем больше на 1 дБ.

Экраны же изготовленные из тяжелого материала, такого как кирпич, обладают эффективностью не уступающей эффективности абсолютно жесткого экрана. Некоторое превышение эффективности экрана из кирпича для малых высот объясняется большей их толщиной (125 мм и 250 мм) по сравнению с абсолютно жестким экраном, толщина которого была 10 мм.

Похожая ситуация наблюдается и на частоте 125 Гц (рис. 4,б). Над визирной линией (~ 8 м) эффективность для всех экранов практически одинакова и с уменьшением высоты плавно возрастает до 4 дБ. Затем эффективность экранов из кирпича соответствует (и даже превышает из-за большей толщины) эффективности абсолютно жесткого экрана. Экраны же изготовленные из тонких листовых материалов с уменьшением высоты имеют эффективность меньшую, чем эффективность абсолютно жесткого экрана.

В области высот 2-4 м наблюдается аномальное увеличение эффективности экрана для тонких листовых материалов. Этот эффект вызван тем, что волна дифрагированная через

верхнюю кромку экрана интерферирует с волной прошедшей через тело экрана. Поскольку длина хода лучей этих волн отличается на полдлины волны, то интерференция этих волн приводит к значительному снижению уровня звукового давления, что автоматически приводит к повышению эффективности экрана в этой области. Однако данный эффект будет наблюдаться лишь для тональных источников шума и не будет проявляться для источника шума с непрерывным спектром, каким является транспортный поток.

Выводы

1. Методики расчета эффективности шумозащитных экранов существующие на сегодняшний день справедливы лишь для экранов выполненных и массивных конструктивных элементов, таких как камень, кирпич или железобетон.
2. Эффективность экранов из листовых материалов с малой поверхностной плотностью, таких как литой поликарбонат, толщиной до 20 мм или стальные листы толщиной до 5 мм, имеют меньшую акустическую эффективность при прочих равных условиях, чем абсолютно жесткий экран. Данный факт приводит к значительной погрешности проводимых расчетов.
3. Эффективность экранов изготовленных из листовых материалов возрастает с увеличением толщины материала, что объясняется увеличением звукоизоляции, и как следствие, уменьшением влияния волны прошедшей через тело экрана.
4. С увеличением частоты эффективность экрана возрастает вне зависимости от того из какого материала изготовлен экран.
5. Для обеспечения большей эффективности шумозащитных экранов при прочих равных параметрах (высота, длина, место расположения) необходимо выбирать материал экрана со звукоизоляцией на 15-20 дБ выше, чем расчетная его эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maekawa Z. Noise reduction by screens / Z. Maekawa // Appl. Acoust. – 1968. – Т. 1, № 3. – Р. 157 – 173.
2. J.B. Keller, «Geometrical Theory of Diffraction», J. Opt. Soc. Amer., Vol.52, n.2, pp. 116-130, February 1962.
3. М.О. Трохименко, В. П. Заєць Застосування сендвіч-панелей в конструкції шумозахисних екранів // Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. - Випуск 31.- 2009.-с. 111-113
4. В.С. Дідковський, В.П. Заєць, Н.О. Самійленко Порівняльний аналіз визначення шумових характеристик транспортних потоків // Електроніка і зв'язь. – 2010. – №57.–с. 149-154