

С ЦЕЛЮ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ СНИЖЕНИЯ ШУМА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Внешний шум автомобиля - важный показатель его экологических качеств. Если с момента введения Международных правил ЕЭК ООН нормы внешнего шума для легковых автомобилей уменьшились с 82 до 74 дБА, а для большегрузных автомобилей - с 92 до 80 дБА, то в совокупности на автодорогах общего пользования в связи с увеличением интенсивности движения общий эквивалентный уровень звука может изменяться от 65 дБА до 85 дБА и более, для дорог с интенсивностью движения от 50 авт./час - до 9 тыс. авт./час соответственно [1].

Эти цифры не являются детерминированными и зависят от значительного количества факторов, в том числе состава потоков, скоростей движения, характеристик дороги и др. Учитывая постоянное увеличение интенсивности движения на дорогах, вопросы снижения воздействия шума на селитебных территориях становятся все более актуальными. В настоящее время действенным средством для снижения шума от автомобильного транспорта признаны акустические или шумозащитные экраны (АЭ или ШЭ).

Конструкции шумозащитных экранов делят на две группы [1-3]:

отражающие и отражающе-поглощающие.

От отражающих экранов звуковая энергия отражается в противоположную от защищаемого объекта сторону. Для изготовления таких экранов используют плотные материалы, имеющие низкий коэффициент поглощения звука и, следовательно, высокие шумоотражающие качества. К таким АЭ относятся, в частности, экраны, выполненные из светопрозрачных панелей. При изготовлении светопрозрачных панелей используют безопасное закаленное стекло, многослойные небьющиеся стекла

и пластические материалы (поликарбонат, акрил) толщиной не менее 12 мм и имеющие коэффициент светопрозрачности не менее 70%.

Отражающе-поглощающие экраны, к которым относятся, в частности, экраны из легкого бетона с древесной стружкой, в результате поглощения части звуковой энергии способствуют уменьшению уровней звука в застройке на противоположной стороне дороги и в салонах проезжающих автомобилей.

Нормативные документы [1, 2] рекомендуют при устройстве АЭ использовать многослойную конструкцию отражающе-поглощающих акустических панелей, показанную на рис. 1. Кроме того, АЭ должны быть архитектурно выразительными, удачно вписываться в ландшафт окружающей местности, сохранять визуальный обзор придорожного пространства [3].

Для улучшения обзора водителями и пассажирами придорожного ландшафта, улучшения освещенности дороги и видимости на пересечениях существующие нормативные документы рекомендуют шире применять комбинированные шумозащитные экраны, которые включают в себя как светопрозрачные отражающие, так и отражающе-поглощающие акустические панели. Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют комбинированные АЭ, состоящие из многослойных отражающе-поглощающих акустических панелей и отражающих светопрозрачных панелей. На практике, особенно в городских условиях, чаще всего исполь-

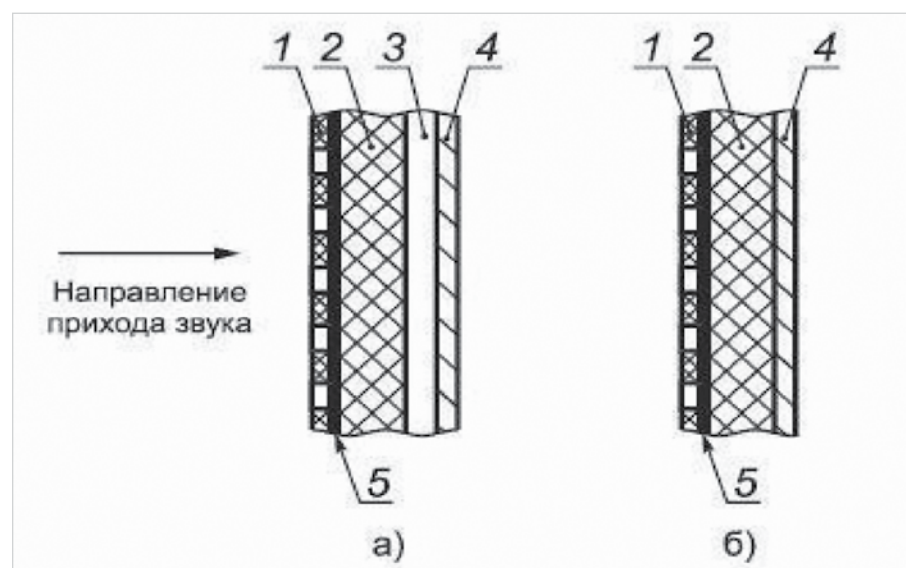


Рис. 1. Схема многослойной панели со звукопоглощением с воздушным промежутком (а) и без него (б).
1 - перфорированный лист (звукотранспарантная сетка); 2 - звукопоглощающий материал (50-100 мм); 3 - воздушный промежуток (50-80 мм); 4 - твердый сплошной лист; 5 - стеклоткань Э-0,1 или пленка толщиной не более 50 мкм [1-2].



Рис. 2. Примеры устройства комбинированных АЭ со светопрозрачными средними по высоте акустическими панелями

зуются комбинированные АЭ, в которых светопрозрачными делаются средние по высоте акустические панели (рис. 2).

Ранее в работах [4, 5] нами исследовалась акустическая эффективность многослойного отражающе-поглощающего и отражающего светопрозрачного АЭ, а в работе [6] – эффективности акустических экранов малой высоты, расположенных вдоль трамвайных линий. Использование КЭ моделирования для решения этих задач показало, что предложенный подход практически заменяет во многом реальный эксперимент и может быть назван виртуальным цифровым экспериментом.

КЭ-моделирование работы АЭ комбинированной конструкции

Рассмотрим в качестве примера виртуальный цифровой анализ эффективности комбинированного АЭ, состоящего по высоте из четырех акустических панелей: верхней и нижней – отражающе-поглощающих и средних – отражающих светопрозрачных. Расчетная схема и конечно-элементная модель этой конструкции показаны на рис. 3. Расчетная схема принята соответствующей контрольным натурным измерениям, принятым в ГОСТ 20444–85.

КЭ-область воздушной среды с размерами 8×8 м ограничена по контуру полубесконечными КЭ-элементами воздушной среды. В рассматриваемом примере, в соот-

Шумозащитные или акустические экраны (ШЭ или АЭ) обычно используются для ослабления шума от дорожного движения на жилой территории. Эффективность экранов оценивается в основном с использованием натурального эксперимента, что требует установки экрана на дороге и проведения достаточно затратных работ. В то же время современный аппарат решения задач виброакустики с помощью конечно-элементных (КЭ) программных комплексов позволяет еще на стадии проектирования оценить эффективность АЭ, причем учесть свойства материалов и конструктивные особенности экранов. В работе рассматривается пример оценки эффективности АЭ с использованием конечно-элементного (МКЭ) моделирования для комбинированного АЭ, состоящего из отражающе-поглощающих многослойных и отражающих однослойных светопрозрачных панелей. Исследования проведены с использованием лицензионного МКЭ-комплекса ASTRAN компании MSC.Software, что позволяет эффективно проводить виртуальный эксперимент для анализа снижения шума на автодорогах в результате установки АЭ. Одновременное решение задач шума и прочности при силовых воздействиях (ветровых, динамических и других) с использованием МКЭ позволяет комплексно подойти к одновременному решению проблем обеспечения безопасности и экологии на дорогах.

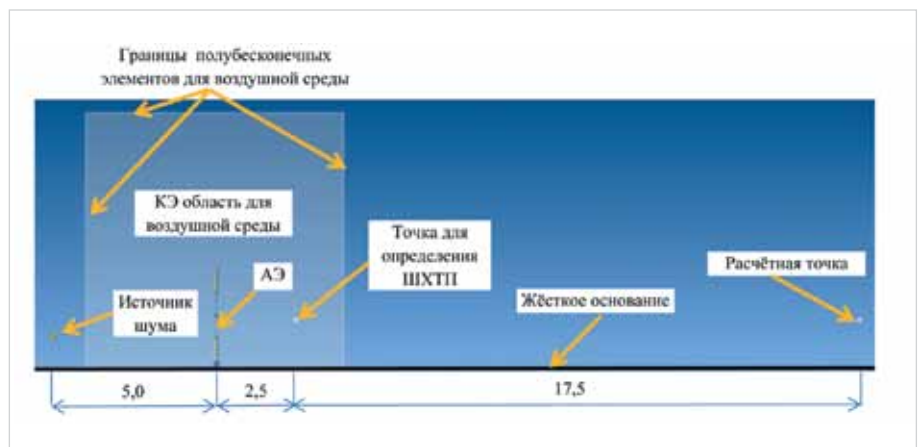


Рис. 3. Расчетная схема и КЭ модель многослойного АЭ, высотой 3,08 м и толщиной 0,12 м

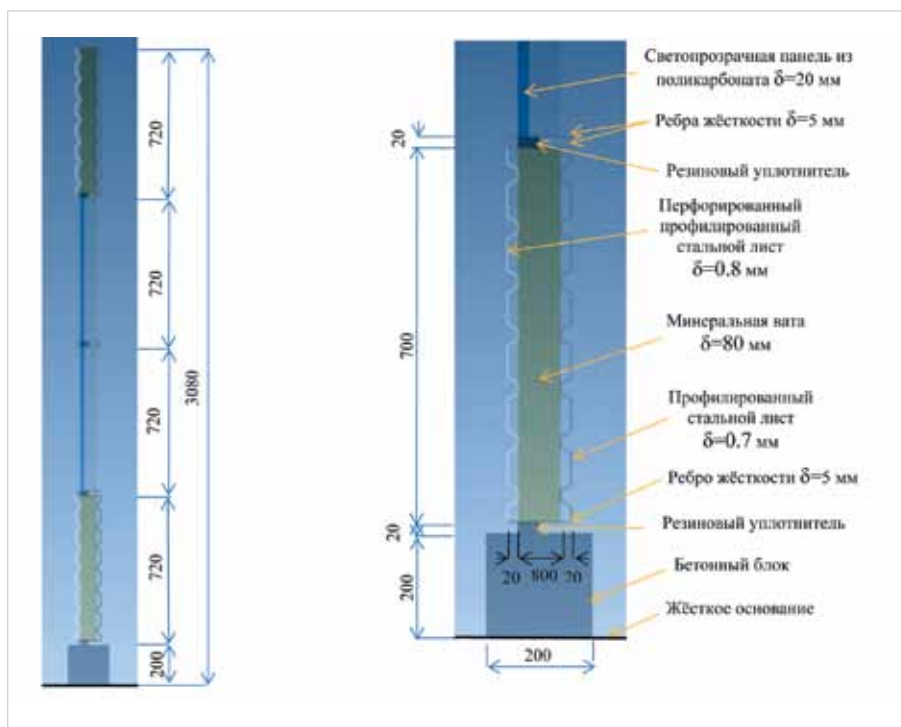


Рис. 4. Вертикальные размеры АЭ в мм (слева) и детализация его конструкции (справа)

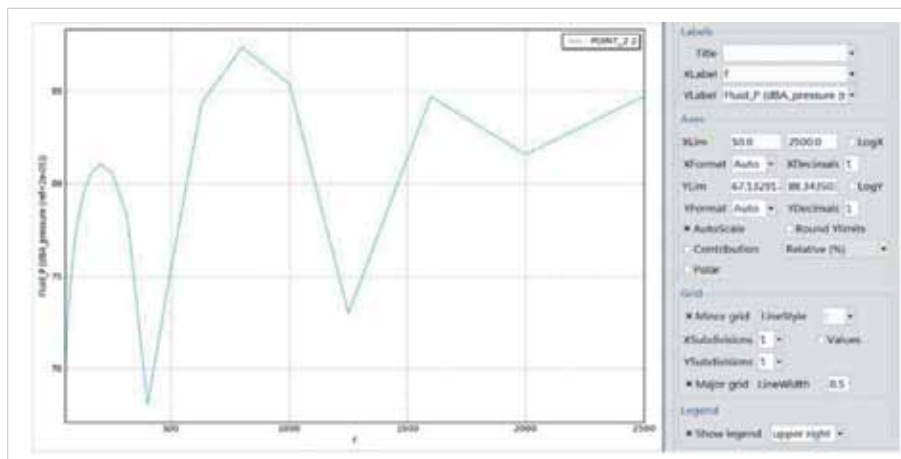


Рис. 5. График изменения уровня шума в зависимости от третьоктавной частоты в точке, где определяется шумовая характеристика транспортного потока (см. рис. 3)



Рис. 6. Распределение уровня звука (дБА) в конечно-элементной области КЭ модели для третьоктавной частоты, равной 2000 Гц, полученное для варианта до установки АЭ

ветствии с ГОСТ 20444–85, источник шума (ИШ) располагается на оси ближайшей полосы движения автотранспорта на высоте 1 м от поверхности дорожного покрытия, а шумовая характеристика транспортного потока (ШХТП) – значения эквивалентного и максимального уровня звука – определяется в точке, расположенной на расстоянии 7,5 м от оси ближней к застройке полосы движения автомобильной дороги на высоте 1,5 м над уровнем проезжей части (рис. 3).

Расчетная точка для оценки влияния АЭ на снижение шума на селитебной территории, в соответствии с [2], была принята на расстоянии 20 м от АЭ и на высоте 1,5 м от поверхности проезжей части (рис. 3).

Вертикальные размеры АЭ (в мм) и детализация его конструкции показаны на рис. 4.

В рассмотренном примере КЭ модель строилась в плоской постановке. В связи с этим источник звука принимается цилиндрическим, создающим в точке, где определяется ШХТП, максимальный уровень звука 88 дБА (рис. 5), что соответствует наличию в транспортном потоке грузовых автомобилей, движущихся со скоростью 90 км/час [2].

Результаты расчетов

Некоторые из результатов исследований иллюстрируются на рис. 6–10.

На рис. 6 показано распределение уровня звука (дБА) в конечно-элементной области модели для третьоктавной частоты, равной 2000 Гц, полученное для расчета варианта до установки АЭ. А на рис. 7 показано распределение уровня звука (дБА) в конечно-элементной области модели для третьоктавной частоты равной 2000 Гц, полученное для варианта после установки АЭ.

График, приведенный на рис. 8, показывает уровень звука (дБА) в расчетной точке в зависимости от третьоктавных частот до установ-

ки комбинированного отражающе-поглощающего АЭ.

А график, приведенный на рис. 9, показывает зависимость уровня звука (дБА) в расчетной точке КЭ модели в зависимости от третьоктавных частот после установки комбинированного отражающе-поглощающего АЭ.

Из рассмотрения этих графиков видно, что на низких частотах (до 125 Гц) многослойный АЭ является более эффективным, чем комбинированный.

На частотах 160, 200 и 500 Гц более эффективным становится комбинированный АЭ. На остальных частотах более эффективным опять является многослойный отражающе-поглощающий АЭ.

Для оценки эффективности АЭ во всем диапазоне частот от 50 до 2500 Гц используем формулу, приведенную в работе [7]:

$$L_{50-2500} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1 l_{i,Ai}} \right) - 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1 l_{b,Ai}} \right)$$

Здесь $L_{50-2500}$ – снижение среднего уровня звука L_{Acp} (дБА) в расчетной точке в результате установки АЭ в диапазоне 50–2500 Гц третьоктавных частот; $l_{i,Ai}$ – уровень звука (дБА) в расчетной точке для i третьоктавной частоты до установки АЭ; $l_{b,Ai}$ – уровень звука (дБА) в расчетной точке для i третьоктавной частоты после установки АЭ. Результаты анализа с использованием формулы (1) представлены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что эффективность комбинированного АЭ в диапазоне 50–2500 Гц третьоктавных частот в среднем на 0,68 дБА ниже, чем многослойного отражающе-поглощающего АЭ.

Конструкция АЭ	Снижение среднего уровня звука L_{Acp} (дБА) в диапазоне 50–2500 Гц третьоктавных частот
Комбинированный отражающе-поглощающий	17,56
Многослойный отражающе-поглощающий	18,24

Табл. 1. Снижение среднего уровня звука L_{Acp} (дБА) в расчетной точке (рис. 1) в диапазоне 50–2500 Гц третьоктавных частот в зависимости от конструкции АЭ

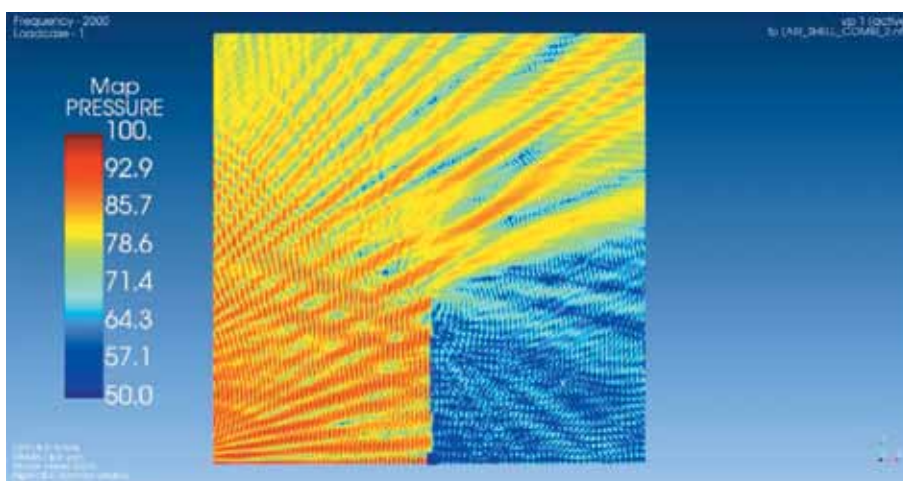


Рис. 7. Распределение уровня звука (дБА) в конечно-элементной области КЭ модели для треть октавной частоты равной 2000 Гц, для варианта после установки комбинированного отражающе-поглощающего АЭ

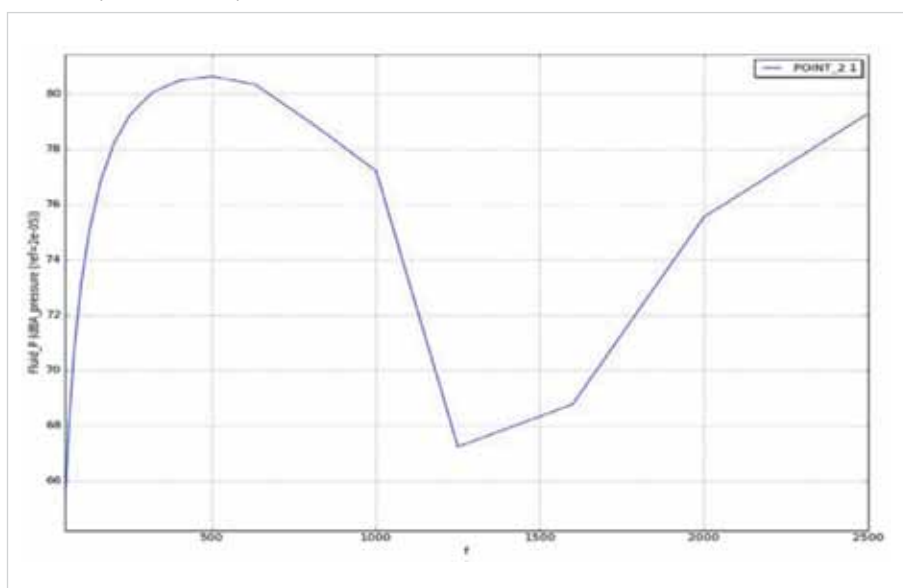


Рис. 8. График уровня звука (дБА) в расчётной точке в зависимости от треть октавных частот, полученный для КЭ модели до установки комбинированного отражающе-поглощающего АЭ

Выводы

Приведенный пример применения цифрового моделирования для анализа акустической эффективности шумозащитного экрана (АЭ) сложной комбинированной конструкции показывает, что:

1. Использование КЭ моделирования акустических процессов шумоглушения на автомобильных дорогах с использованием АК экранов является действенным

инструментом, представляющим собой виртуальный цифровой эксперимент, который позволяет при проектировании конструкций АЭ рассчитывать их эффективность и таким образом существенно экономить ресурсы при проектировании и испытаниях.

2. Незначительное отличие результатов в оценке эффективности комбинированных и многослойных шумозащитных экранов для рассмотренных конструкций показывает, что первые могут широко применяться на автодорогах, так как они улучшают обзор, а также улучшают освещенность дороги и видимость на пересечениях.

3. В приведенном примере не рассматривается подробно пространственная ситуация возникновения

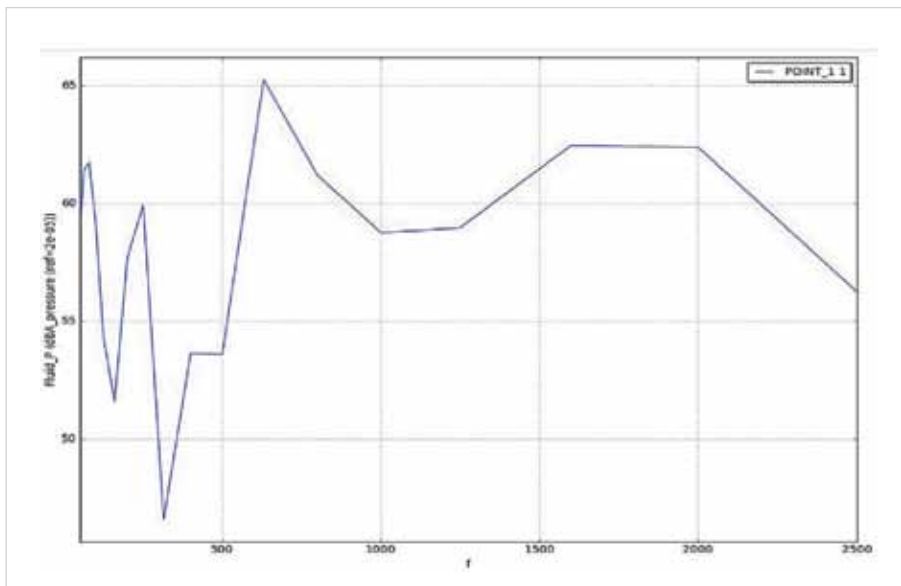


Рис. 9. График уровней звука (дБА) в расчетной точке в зависимости от третьоктавных частот, для КЭ модели с установленным комбинированным отражающе-поглощающим АЭ

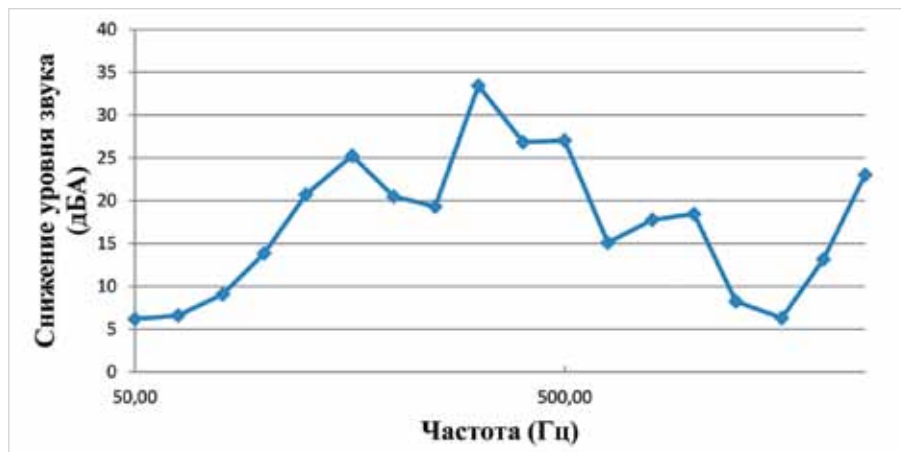


Рис. 10. График снижения уровней звука (дБА) в расчетной точке в зависимости от третьоктавных частот в результате установки комбинированного отражающе-поглощающего АЭ

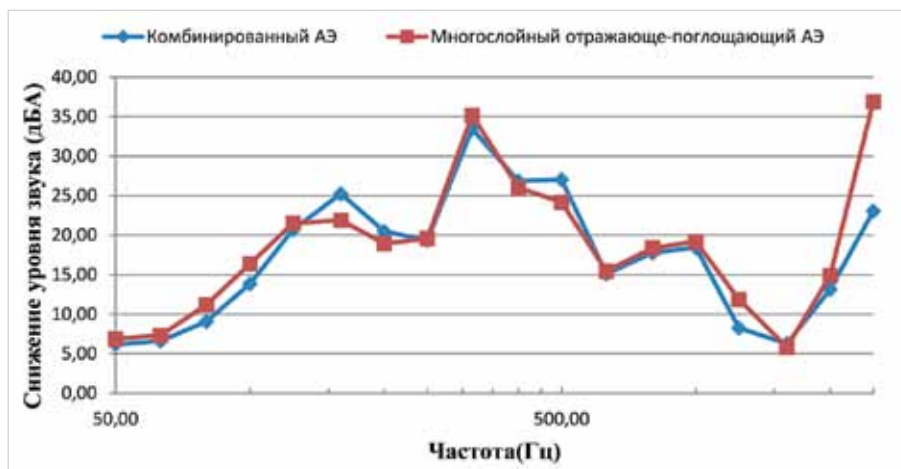


Рис. 11. Графики снижения уровней звука (дБА) в расчетной точке в зависимости от третьоктавных частот для комбинированного и многослойного отражающе-поглощающего АЭ

внешнего шума от автомобилей на дороге, однако полученный инструмент, основанный на применении цифровых технологий КЭ акусти-

ческого моделирования для оценки эффективности комбинированных акустических экранов, представляется перспективным для развития

направления дальнейших исследований. В настоящее время нами ведутся исследования по анализу эффективности различных конструкций АЭ, в том числе из легкого бетона с древесной стружкой и комбинированных конструкций с использованием дорожных парапетных ограждений в основании АЭ.

Работа выполнена в рамках программы «Развитие – Цифровые технологии» при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям) (№ 47ГРЦТС10-D5/56182).

И.В. Демьянушко,
д-р техн. наук, профессор,
В.М. Стаин,
канд. техн. наук, профессор,
В.С. Надеждин,
канд. техн. наук

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства российской федерации. – Москва, 2016. – 147 с.
2. ОДМ 218.2.013–2011 Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. – 123 с.
3. Поспелов П.И. Защита жилой застройки от транспортного шума при реконструкции Московской кольцевой автомобильной дороги // Транспортное строительство. – 2000. – № 1. – С. 6–10.
4. Демьянушко И.В., Стаин В. М., Стаин А. В. Конечно-элементный расчет эффективности многослойного акустического экрана вдоль автомобильной дороги // Транспортное строительство. – 2018. – № 4. – С. 20–25.
5. Демьянушко И.В., Стаин В. М., Стаин А. В. Расчет эффективности отражающего светопрозрачного акустического экрана конечно-элементным методом // Транспортное строительство. – 2018. – № 7. – С. 14–17.
6. Демьянушко И.В., Стаин В. М., Стаин А. В. Расчет эффективности акустических экранов малой высоты, расположенных вдоль трамвайных линий // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. – Вып. 1 (52). – С. 119–125.
7. Jolibois A. A sensitivity-based approach to optimize the surface treatment of a low-height tramway noise barrier, Ph.D. thesis, The Pennsylvania State University (University Park, PA, USA), 2013.