

УДК 534.26, 51-73

Экспериментальный стенд для лабораторных измерений звукоизоляции вентилируемых ограждений

Долгер Александр Романович^{1(*)}

a.dolger@yandex.ru

Канев Николай Георгиевич^{1, 2, 3}

nikolay.kanev@mail.ru

¹ НИУ МГСУ, Москва, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

³ НИИСФ РААСН, Москва, Россия

Аннотация. Представлено описание конструкции и технических характеристик экспериментального стенда, предназначенного для лабораторных измерений звукоизоляции вентилируемых ограждений. Описана методика проведения исследований в контролируемых лабораторных условиях с использованием источника широкополосного шума. Приведена оценка максимального значения акустической эффективности. Разработанный экспериментальный стенд обеспечивает контролируемые условия проведения измерений, позволяя минимизировать влияние внешних факторов. Влияние дифракционного огибания звуковых волн в кромках экрана в принятой постановке может быть принято несущественным, поскольку его вклад в результирующее значение эффективности мал. Установлены возможности применения стенда для оптимизации акустических параметров ограждений.

Ключевые слова: строительная акустика, метод конечных элементов, экранирование шума, акустическая эффективность, лабораторный эксперимент, экспериментальный стенд

Calculating noise barrier for broadband noise

Dolger Alexandr Romanovich^{1(*)}

a.dolger@yandex.ru

Kanev Nikolay Georgievich^{1, 2, 3}

nikolay.kanev@mail.ru

¹ MGSU, Moscow, Russia

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

³ NIISF RAASN, Moscow, Russia

Abstract. The paper presents a description of the design and technical specifications of an experimental setup designed for laboratory measurements of the sound insulation of ventilated enclosures. The research methodology conducted under controlled laboratory conditions using broadband noise sources is described. The results of the setup verification and the assessment of the acoustic performance of various ventilated structure configurations are provided. The potential for utilizing the test stand to optimize the acoustic and aerodynamic parameters of enclosures has been established.

Keywords: Construction acoustics, finite element method, noise barrier, acoustic efficiency, laboratory experiment, experimental stand

Введение. Снижение шума от стационарных источников, включая инженерное и технологическое оборудование, остается актуальной задачей в связи с необходимостью соблюдения санитарно-гигиенических требований и обеспечения акустического комфорта в окружающей среде [1]. Одним из наиболее распространенных инженерных решений являются шумозащитные экраны, действие которых основано на ослаблении звукового поля за счет отражения, дифракции и частичного поглощения звуковых волн [2].

Сплошные экраны, как правило, демонстрируют высокую акустическую эффективность, однако их использование ограничено в случаях, когда требуется обеспечение воздухообмена, например, при защите вентиляционного или теплообменного оборудования. В таких ситуациях применяются конструкции ламельного типа [3-5], представляющие собой систему наклонно расположенных пластин, позволяющих одновременно сохранять проницаемость для воздушных потоков и обеспечивать снижение уровня шума.

Для исследования акустической эффективности различных конфигураций шумозащитных экранов ламельного типа был разработан экспериментальный стенд, включающий исследуемую конструкцию и короб, расположенный за экраном. Такая компоновка установки обеспечивает направленное распространение звукового излучения от источника через межламельные пространства внутрь короба, что позволяет исключить влияние бокового и верхнего огибания звука вокруг экрана. В результате создаются условия, при которых основным механизмом передачи звука является его прохождение непосредственно через межламельные каналы.

Следует отметить, что дифракционные процессы на внешних границах короба сохраняются, однако при принятой методике определения акустической эффективности их влияние на результирующие значения пренебрежимо мало.

Методы и материалы. Экспериментальные исследования проводились в заглушенной камере акустического корпуса НИИСФ РААСН [6], что обеспечивало контролируемые условия распространения звуковых волн и минимизацию влияния отражений от ограждающих поверхностей. В лабораторных условиях был реализован экспериментальный стенд, включающий исследуемый ламельный шумозащитный экран и П-образный короб, размещенный за конструкцией экрана. Общий вид стенда представлен на рис. 1.

Экран представляет собой жесткую раму габаритами 1,2×2,0 м (ширина × высота), внутри которой располагаются ламели — пластины размером 1,0 × × 0,2 м (длина × ширина). Ламели устанавливались с шагом 0,2 м, формируя периодическую структуру. Конструкция экрана опирается на жесткое основание, выполненное в виде системы опор, обеспечивающих ее устойчивое положение и неизменность геометрических параметров в процессе проведения эксперимента. За экраном установлен П-образный короб, предназначенный для исключения прохождения звуковых волн через боковые и верхнюю кромки исследуемого экрана. Короб формировался двумя боковыми сплошными панелями размером 1,5×1,35 м (ширина × высота), а также верхним покрытием.



Рис. 1. Экспериментальный стенд. Общий вид

Для определения акустической эффективности ламельного экрана использовали два варианта положения источника шума: перед экраном на расстояниях 1 и 2 м, соответственно, а также четыре расчетные точки, размещенные за экраном. Расчетная схема, применяемая для оценки эффективности экрана, представлена на рис. 2.

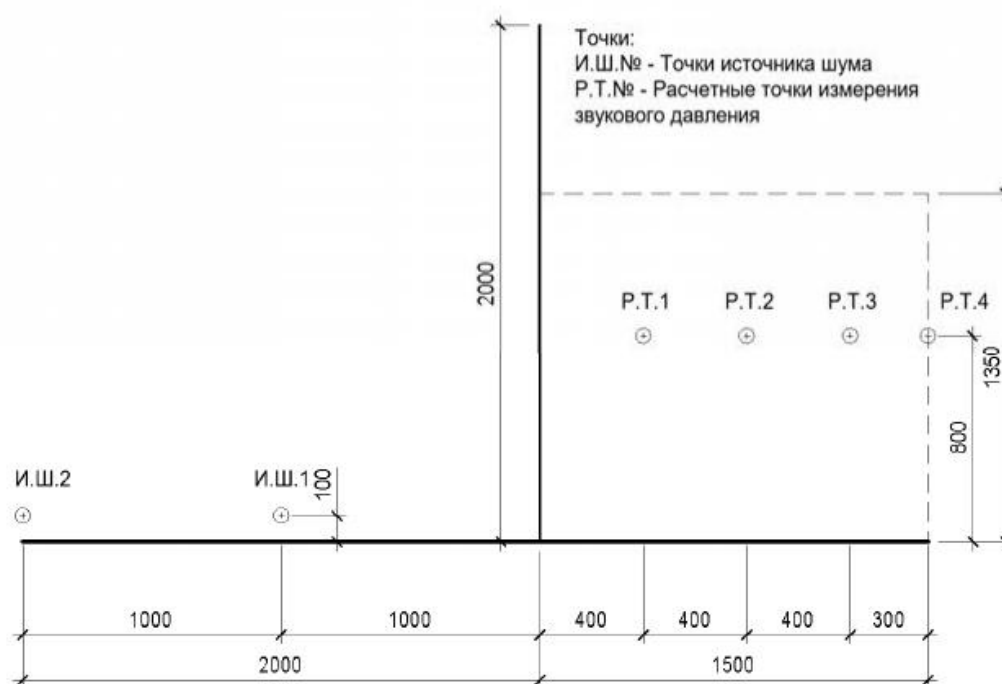


Рис. 2. Расчетная схема для вычисления эффективности ламельного экрана

Следует отметить, что в рамках принятой экспериментальной схемы полностью исключить дифракционное огибание звуковых волн в области тыльной стороны короба не представляется возможным. Влияние указанных дифракционных эффектов можно считать несущественным. Это обусловлено тем, что вклад огибания звуковых волн в рассматриваемых условиях оказывает малое влияние на результирующее значение эффективности. Акустическая эффективность экрана определяется как разность уровней звукового давления (УЗД) при отсутствии и наличии экрана:

$$\Delta L(x) = L(x) - L^{\text{ЭК}}(x), \quad (1)$$

где $L(x)$ — уровень звукового давления в точке (области) оси x без учета экрана; $L^{\text{ЭК}}(x)$ — уровень звукового давления в той же точке (области) при наличии экрана.

В качестве источника звукового воздействия использовался генератор широкополосного сигнала — звуковое излучение формировалось с помощью всенаправленного акустического источника (додекаэдра) модели OED-SP360. Регистрация уровней звукового давления осуществлялась с использованием шумомера, оснащенного функцией спектрального анализа (Signal+ 3G RTA).

В дополнение к экспериментальным исследованиям в программной среде COMSOL Multiphysics было выполнено численное моделирование, в рамках которого разработана трехмерная модель экспериментального стенда для проведения акустических расчетов (рис. 3).

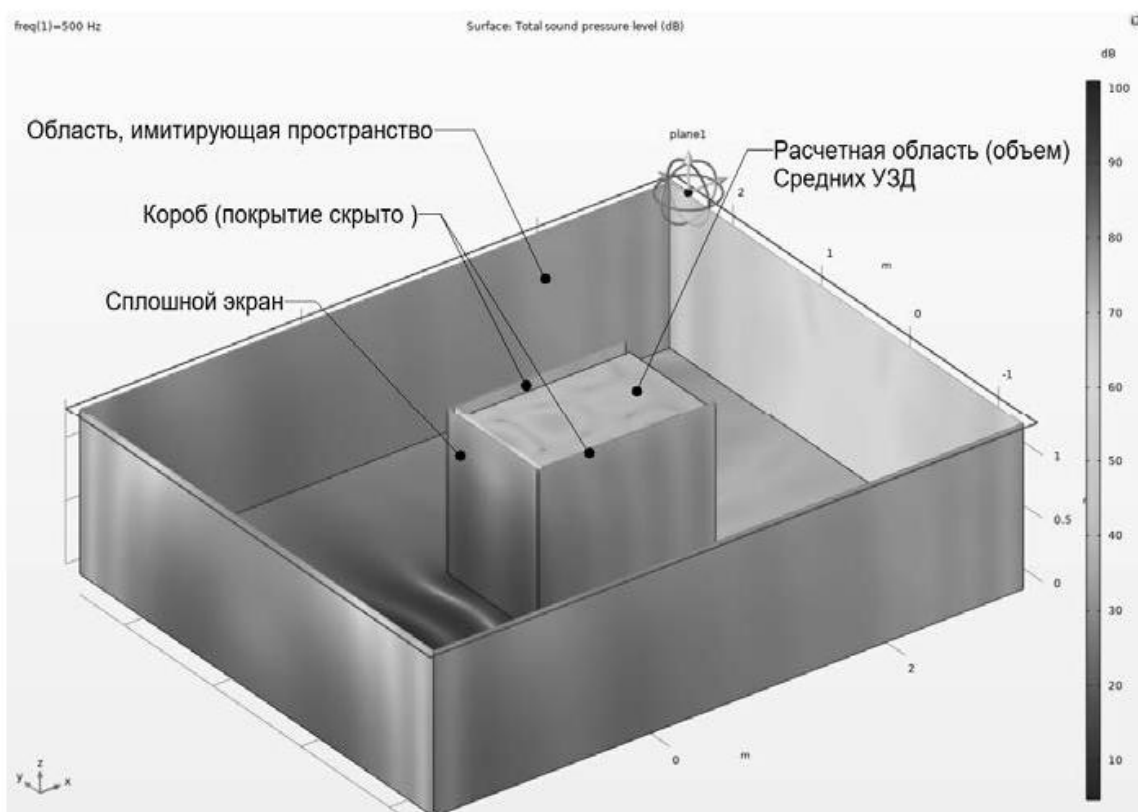


Рис. 3. Общий вид расчетной модели в COMSOL Multiphysics

Расчетная модель представляет собой трехмерную область, заполненную воздухом, внутри которой размещались элементы экспериментального стенда. Использовалась модель со сплошным шумозащитным экраном, что позволило оценить максимально достижимый уровень акустической эффективности экрана (независимо от типа) в рамках данной расчетной схемы (экспериментального стенда). Дополнительно в модели выделялась область внутри короба, в пределах которой определялись средние значения уровня звукового давления, используемые для последующего анализа.

Расчет выполнялся в частотной области с использованием модуля Pressure Acoustics, Frequency Domain, что обеспечивало получение стационарного распределения акустического давления в заданном диапазоне частот. Расчеты акустического поля выполнялись на среднегеометрических частотах октавных полос 63, 125, 250 и 500 Гц [7]. Широкополосный шум моделировался как совокупность тональных сигналов, заданных на среднегеометрических частотах рассматриваемой полосы, а уровень звукового давления определялся путем их энергетического суммирования [8].

В качестве граничных условий были заданы:

Жесткие акустические границы (Sound Hard Boundary) на поверхностях твердых элементов конструкции (экран, короб), что соответствует условию отсутствия нормальной составляющей скорости частиц на границе и моделирует акустически отражающие поверхности.

Точечный монополярный источник (Monopole Point Source), задающий излучение звуковой волны в расчетной области. Данный тип источника моделирует всенаправленное излучение широкополосного шума.

Граничное условие излучения (Plane Wave Radiation) на внешних границах расчетной области, обеспечивающее поглощение исходящих волн и предотвращение их отражения обратно в расчетную область. Это позволяет моделировать условия, приближенные к неограниченному пространству.

Начальные условия (Initial Values) задавались в виде нулевого акустического давления, что соответствует отсутствию возмущений в среде до начала расчета.

В процессе численного моделирования были рассмотрены 2 принципиальные расчетные схемы, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Конфигурации расчетных схем (PC)

Элементы	№ расчетной схемы	
	PC 1	PC 2
Шумозащитный экран	–	+
П-образный короб	–	+

Результаты. В численном моделировании определение уровня звукового давления преимущественно осуществлялось по объему области внутри коро-

ба с последующим усреднением, что позволяет учитывать пространственное распределение звукового поля. Поскольку экспериментальные исследования ламельного экрана проводились в четырех фиксированных точках, в численном моделировании дополнительно был рассмотрен вариант обработки результатов по этим точкам — с усреднением значений уровня звукового давления в указанных контрольных позициях. Сопоставление результатов, полученных по объему и по точечным значениям, выполнялось с целью сравнения двух вариантов обработки данных — объемного усреднения и усреднения по контрольным точкам. При этом объемное усреднение является более репрезентативным, поскольку учитывает совокупность значений в пространстве, включая контрольные точки. Ниже представлены результаты вычислений разности УЗД в 2-х расчетных схемах (табл. 2).

Таблица 2

Разности УЗД между расчетными схемами

Разность между	Средний УЗД по объему, дБ			
	Частота (63 Гц)	Частота (125 Гц)	Частота (250 Гц)	Частота (500 Гц)
PC1-PC2	7,3	10,3	17,0	17,4
	Средний УЗД по 4 точкам, дБ			
	Частота (63 Гц)	Частота (125 Гц)	Частота (250 Гц)	Частота (500 Гц)
	7,7	9,1	15,1	13,5

На рис. 4 представлена визуализация результатов расчета акустического поля на частоте 500 Гц для рассматриваемых расчетных схем: PC1 и PC2.

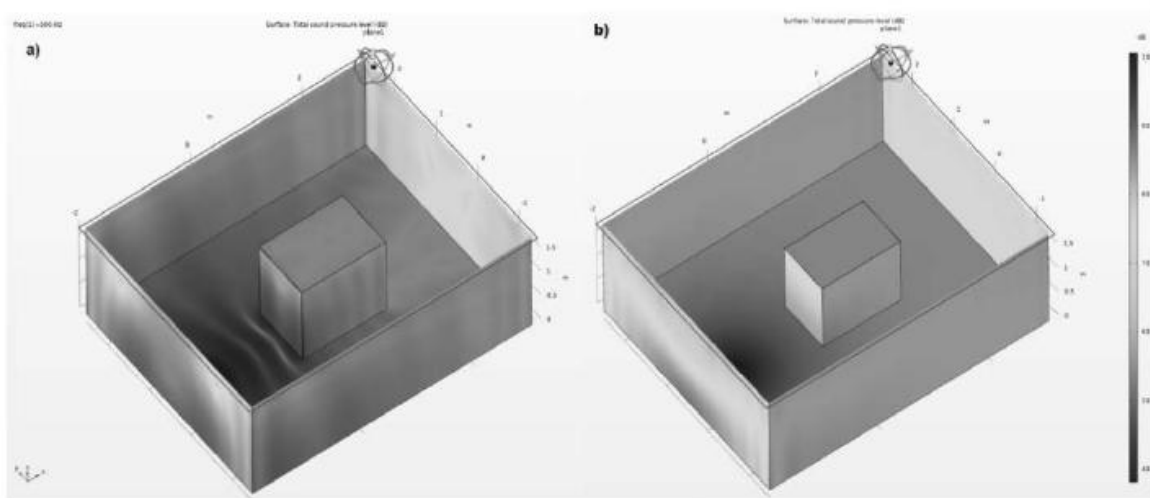


Рис. 4. Расчетная схема:

- а — со сплошным экраном, П-образным коробом и расчетной областью (PC2);
б — включающая только расчетную область (PC1)

Обсуждение. Анализ результатов показывает, что различие между значениями УЗД, полученными при объемном усреднении и усреднении по четырем контрольным точкам, является незначительным, что указывает на согласованность получаемых результатов. Значения разности УЗД для схем РС1–РС2 характеризуют предельный уровень акустической эффективности, который может быть зафиксирован в рамках данного экспериментального стенда. Использование П-образного короба в предложенной постановке эксперимента позволяет сделать влияние огибания звуковых волн по кромкам экрана несущественным и сформировать условия, при которых регистрируется звуковое поле, обусловленное прохождением волн через межламельные каналы. Разработанный стенд предназначен для последующих исследований акустической эффективности продуваемых экранов. Таким образом, предложенная постановка эксперимента позволяет корректно оценивать акустическую эффективность ламельного экрана; на основе численного моделирования определен ее предельный уровень, достигаемый в данном стенде.

Заключение. Предложенная постановка эксперимента обеспечивает корректную оценку акустической эффективности ламельного экрана за счет минимизации влияния дифракционных эффектов по кромкам конструкции. Численным моделированием определен предельный уровень эффективности, достижимый в описываемом экспериментальном стенде.

Список источников

- [1] СП 51.13330.2011. *Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003*. Москва, Минрегион России, 2011, 72 с.
- [2] Иванов Н.И., Светлов В.В., Шашурин А.Е. Снижение шума стационарных источников в жилой застройке технологическими шумозащитными экранами. *Безопасность жизнедеятельности*, 2018, № 6 (210), с. 16–22.
- [3] Бужинский К.В., Андрющенко А.К., Фиев К.П., Тюрина Н.В., Кондратьев С.А. Практические решения по снижению шума чиллеров и драйкулеров. *Noise Theory and Practice*, 2025, т. 11, № 4, с. 260–266.
- [4] Канев Н.Г., Маяк А.А. Оценка эффективности шума экраном ламельного типа. *Акустика среды обитания. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, с. 125–132.
- [5] Долгер А.Р., Канев Н.Г. Численное моделирование шумозащитных экранов ламельного типа. *Сб. тр., посв. памяти академиков РААСН В.М. Бондаренко и Г.Л. Осипова: матер. Междунар. науч.-практ. конф.* Москва, НИИСФ РААСН, 2025, с. 202–207.
- [6] Бикмухаметов Ф.Р., Канев Н.Г. Безэховая звукомерная камера НИИ строительной физики: актуальные акустические характеристики. *Noise Theory and Practice*, 2026, т. 12, № 1, с. 7–17. <https://doi.org/10.56408/2412-8627.2026.1.12.001>
- [7] ГОСТ 12090–80. *Частоты для акустических измерений. Предпочтительные ряды*. Москва, Изд-во стандартов, 1980, 5 с.
- [8] Долгер А.Р., Канев Н.Г. Об особенностях расчета шумозащитных экранов для широкополосных источников шума. *Акустика среды обитания. X Всерос. конф. молодых ученых и специалистов: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 147–154.