

АКТИВНАЯ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Дмитрий Леонидович РАКОВ родился в 1964 г. в городе Москве. Старший научный сотрудник Института им. А.А. Благонравова, РАН. Кандидат технических наук. Основные научные интересы — в области структурного анализа и синтеза технических систем. Автор более 100 научных трудов.

Dmitry L. RAKOV, Ph.D., was born in 1964, in Moscow. He is a Senior Research Associate at the Blagonravov Mechanical Engineering Institute of the Russian Academy of Sciences. His research interests are in structural analysis and synthesis of technical systems. He has published over 100 technical papers.

Юрген ТОРБЕК родился в 1950 г. в городе Берлине. Профессор Авиационного института Берлинского технического университета. Доктор технических наук. Основные научные интересы — в области проектирования и оптимизации летательных аппаратов. Автор более 100 научных работ.

Jurgen THORBECK, D.Sci., was born in 1950, in Berlin. He is a Professor at the Institute of Aeronautics and Astronautics in Berlin Technical University. His research interests are in aircraft design and optimization. He has published more than 100 technical papers.

В статье рассматривается возможность применения активной системы звукоизоляции для снижения шума реактивных двигателей в пассажирских кабинах. Акустический эффект получил обозначение 4S (Steerable Sound Suppression System) — управляемая система звукоподавления. В основе эффекта лежит создание зон деформации на поверхности и по толщине звукоизолирующего материала, а также его взаимодействие с эластичной пленкой. Особенностью обнаруженной закономерности является зависимость звукоизоляции от степени деформации материала. Создавая различные напряжения в веществе, можно менять звукоизолирующую способность в зависимости от частоты, т.е. «сдвигать» ее максимум в зависимости от спектра шума. Это позволяет реализовать пассивные, активные и адаптивные системы звукоизоляции.

Введение

Традиционно считается, что хорошей звукоизоляции воздушного шума тонкими пористыми материалами достичь в принципе нельзя [1]. Но, как показали проведенные исследования, можно добиться высокой звукоизолирующей способности для тонких пористых, ячеистых и волокнистых материалов, создавая напряжения в их структуре. Так, для пористого образца толщиной 30 мм и удельной массой менее 1 кг/м² средняя звукоизолирующая способность составляет 12 дБ, а максимальная около 30 дБ на частотах более 3 кГц. Такой же звукоизолирующей способностью обладает,

к примеру, деревянная панель толщиной 30 мм и удельной массой 20 кг/м². Акустический эффект получил обозначение 4S (Steerable Sound Suppression System) — управляемая система звукоподавления. Так как высокой звукоизолирующей способности удалось добиться при низкой массе, то такие системы могут быть использованы в конструкциях летательных аппаратов, требующих, как известно, высокой массовой отдачи [2].

Главной причиной затухания звуковых колебаний является рассеяние энергии внутри системы (внутреннее трение в материале). Чем больше внутреннее трение в преграде, тем лучше звукоизоляция.

В основе эффекта, скорее всего, лежит создание зон деформации на поверхности и по толщине звукоизолирующего материала, а также взаимодействие материала с эластичной пленкой. Формируя зоны неравномерной деформации, удалось эффективно превратить часть механической энергии (звуковая волна) в тепловую, т.е. добиться высокого звукопоглощения [3].

Схема экспериментов

После проведения структурного синтеза исследовались мягкие и полужесткие, пористые и ячеистые материалы (пенополиуретан, и др.), а также материалы с волокнистым каркасом (минераловатные или стекловолоконные плиты). Образцы помещались в герметичные оболочки из полиэтилена. Напряжения в образцах создавались за счет разрежения при помощи вакуумного насоса; соответственно, напряжения, действующие на образцы, были равны степени разрежения в образцах. Разрежение воздуха варьировалось от 10 до 30000 Па. Источник и приемник звука устанавливались друг напротив друга и фиксировались. Величиной звукоизоляции при измерениях являлась разность между средним значением уровней звукового давления в отсутствие панели и средним значением уровней звукового давления в тех же точках после установки панели, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Измерения проводились в Институте акустики Берлинского технического университета, согласно нормам ISO 140-3 [4].

Эксперименты проводились с пенополиуретановыми панелями размерами 340×340 мм и 530×530 мм с разной толщиной (рис. 1, 2).



Рис. 1. Тестируемая панель пенополиуретана (длина — 340 мм, ширина — 340 мм, толщина — 30 мм). Сзади расположены источник питания, вакуумный насос и вакуумметр

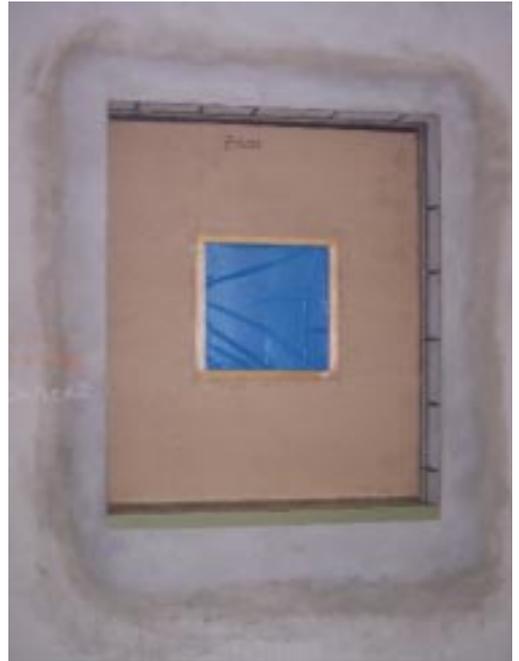


Рис. 2. Тестируемая панель пенополиуретана (530×530×30 мм) в звуковой лаборатории Института акустики

Результаты экспериментов

Звукоизолирующая способность панелей с использованием 4S-технологии сравнивалась со свободным акустическим полем, а также с панелями без использования 4S-технологии. На рис. 3 показаны звукоизолирующие способности для панелей пенополиуретана с толщинами 5, 10 и 20 мм (рис. 3). Средние значения звукоизолирующей способности равны 5,5 дБ, 8,5 дБ и 10 дБ соответственно. Видно, что на низких частотах звукоизоляция образцов пропорциональна их толщине, в районе

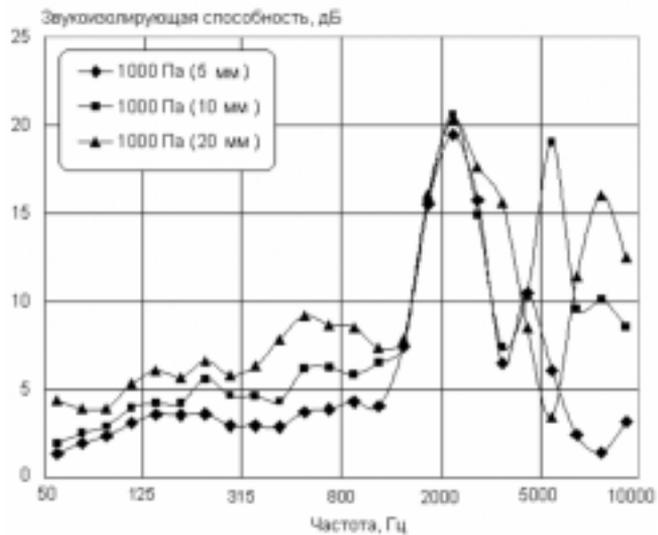


Рис. 3. Звукоизолирующая способность материала пористой структуры толщиной 5, 10 и 20 мм

2 кГц звукоизолирующие способности равны, а в области высоких частот сильно различаются.

В ходе экспериментов рассматривались различные материалы. Например, средние степени звукоизоляции для пенополиуретана толщиной 30 мм (рис. 4) и минеральной ваты толщиной 50 мм с использованием эффекта 4S составляли 13 дБ и 11 дБ соответственно. То есть более толстый материал, но с другой структурой имел меньшую звукоизолирующую способность.

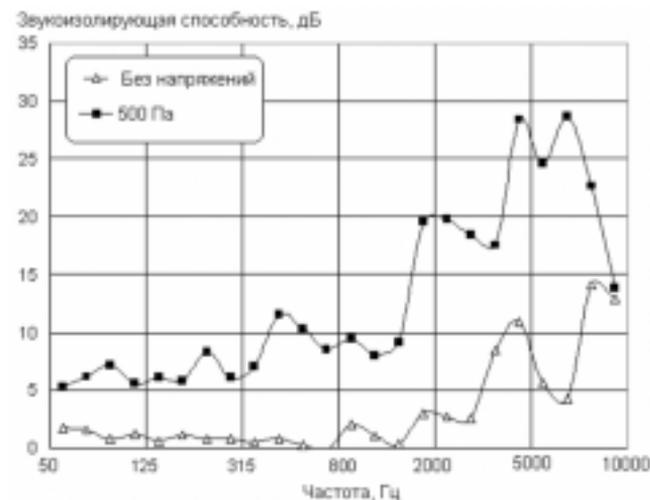


Рис. 4. Звукоизолирующая способность пенополиуретана толщиной 30 мм (с использованием и без использования эффекта)

Регулируемая звукоизоляция

Акустическая защита с помощью пассивных систем оказывается недостаточно эффективной при различных частотных характеристиках шума. Например, спектр шума авиационных двигателей существенно различается в зависимости от режима полета (рис. 5).

Особенностью обнаруженной закономерности является также зависимость звукоизоляции от степени деформации материала панели. Создавая различные разрежения в герметичной оболочке, а следовательно, различные напряжения в материале, можно менять звукоизолирующую способность в зависимости от частоты, т.е. «сдвигать» максимум звукоизолирующей способности в зависимости от спектра шума. Это позволяет создавать пассивные, активные и адаптивные системы звукоизоляции.

Так, для одного и того же образца пенополиуретана толщиной 30 мм звукоизолирующая способность при разных напряжениях достигала разницы порядка 5 дБ на частотах 1 и 2 кГц, а в верхнем частотном диапазоне — 30 дБ (рис. 6).

Активные системы содержат чувствительные элементы, управляющие, усилительные и исполни-

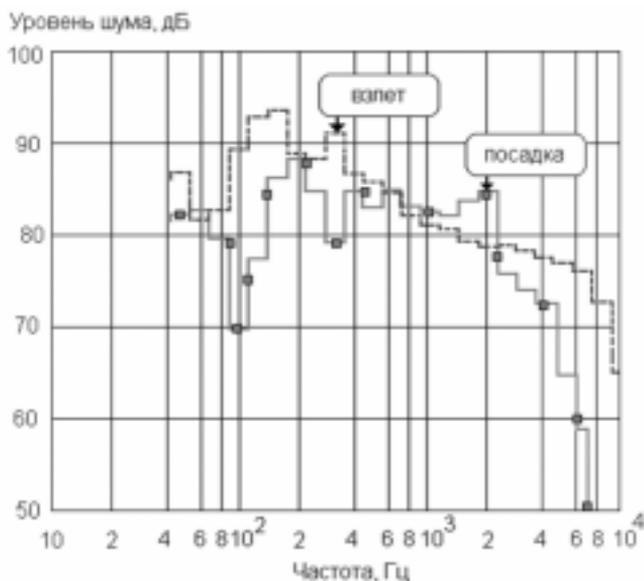


Рис. 5. Частотные характеристики уровня шума в зависимости от режима взлета или посадки самолета

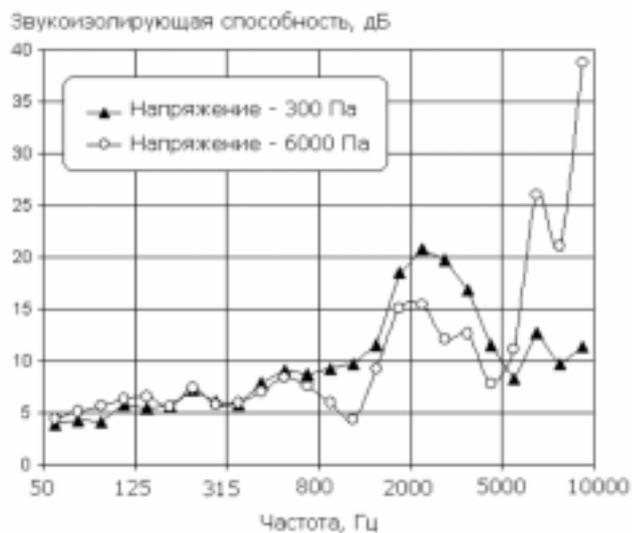


Рис. 6. Изменение звукоизолирующей способности пенополиуретана толщиной 30 мм в зависимости от изменения напряжений (деформаций) и частоты

тельные устройства. В качестве чувствительных элементов могут быть использованы датчики, регистрирующие силы звукового давления, степень напряжений и т.п. Сигналы датчиков используют для формирования сигналов управления в цепи обратной связи. После усиления сигналы подаются в исполнительное устройство, формирующее управляющее воздействие (степень напряжений). В зависимости от вида исполнительного устройства можно создавать гидравлические, пневматические, электромеханические, электромагнитные системы активной звукоизоляции. Выбор типа системы определяется предъявляемыми к ней техническими

требованиями. Так, пневматические системы позволяют получать малые величины статической жесткости, а электромагнитные обладают малой инерционностью и позволяют в широких пределах варьировать амплитудно-частотные характеристики.

Выводы

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально исследован 4S-эффект, при помощи которого были созданы тонкие звукоизолирующие конструкции из пористых материалов с высокой массовой отдачей.

2. Выявлены закономерности изменения степени звукоизоляции в зависимости от напряжений в материале, что позволяет создавать не только пассивные, но и активные системы звукоизоляции и звукопоглощения. Предположительно в основе эффекта лежит создание зон деформации на поверхности и по толщине пористого звукоизолирующего материала, а также взаимодействие материала с эластичной пленкой.

3. Регулируемая высокая звукоизолирующая способность и низкая масса позволят применять исследуемые системы в авиастроении.

В дальнейшем предполагаются экспериментальные исследования звукоизоляции и звукопоглощения, а также математическое моделирование найденных феноменов для оптимизации пассивных и активных элементов звукоизоляции.

Summary

Active sound-suppression systems can be applied to reduce noise level inside aircraft passenger cabins as well as noise insulation for transport systems. An acoustic technique used in discussed investigations is named usually as 4S-technology (Steerable Sound Suppression System). This technique is based on acoustic effect arises under the influence of appropriate stress in porous material panels which results in surface and internal deformations of the panel. A relationship is revealed between noise suppression efficiency and degree of material deformation. One can change noise suppression capabilities of the panel generating various stresses in their material. This technique allows to shift panel noise suppression capability depending on the noise frequency. Some active, passive and adaptive noise suppression systems can be realized basing on the proposed approach.

Библиографический список

1. *Тэйлор Р.* Шум / Пер. с англ. Д. И. Арнольда; Под ред. М. А. Исаковича. — М.: Мир, 1978.

2. *Голубев И.С., Андреев В.В., Парафесь С.Г.* Методы структурно-параметрической оптимизации силовых авиационных конструкций : Учеб. пособие. — М.: Изд-во МАИ, 1991.

3. *Раков Д., Торбек Ю.* Структурный синтез перспективных космических систем // XLI Научные чтения Циолковского. Калуга, 12—14 сентября 2006 года. С. 81—82.

4. International Organization for Standardization: ISO 140-3. Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements. 1995.

Авиационный институт Берлинского технического университета

Статья поступила в редакцию 17.09.2007