

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Шахматов Е.В., Прохоров С.А., Крючков А.Н., Иващенко А.В., Гаспаров М.С.
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Исследование характеристик авиационных двигателей является достаточно сложной задачей, связанной с необходимостью производить эксперименты в натуральных условиях. Одной из задач подобного исследования является определение звукопоглощающих характеристик конструкций.

Шумы, встречающиеся на практике, чаще всего представляют собой случайные процессы, поэтому многие задачи борьбы с шумом не могут быть решены без привлечения методов теории случайных функций. Особый интерес представляют методы исследований, основанные на корреляционно-спектральном анализе случайных процессов. Знание корреляционных функций позволяет определить все представляющие практическую ценность физические характеристики шума.

Измерение звукоизоляции и звукопоглощения можно рассматривать как частные случаи общей задачи, состоящей в определении компонент звукового давления, соответствующих различным источникам шума, временам распространения и различным полосам частот.

Особенно метод полезен для оценки звукоизолирующей способности отдельных элементов конструкций. Очевидно, что для определения звукоизоляции панели достаточно установить её между громкоговорителем и микрофоном (см. рис. 1). При этом максимальное значение участка кривой функции взаимной корреляции

$$K_{qp}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^{\infty} q(t)p(t-\tau)dt, \quad (1)$$

между излучаемым сигналом $q(t)$ и давлением $p(t)$, воспринимаемым микрофоном, пропорциональное интенсивности прямого звука, уменьшится на величину звукоизоляции панели.

Оптимизирование измерения звукоизоляции может быть достигнуто путем введения спектрального разложения предварительно отредактированных взаимных корреляционных функций, измеренных без образца и с образцом

$$S_{qp}(j\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_{qp}(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (2)$$

и вычисления по ним передаточной функции, характеризующей звукоизолирующую способность образца:

$$H(f) = \frac{S_{qp_2}(f)}{S_{qp_1}(f)}, \quad (3)$$

где $f = \frac{\omega}{2\pi}$ – частота в Гц,

S_{qp_1} , S_{qp_2} – взаимные спектральные плотности мощности излучаемого случайного процесса $q(t)$ и принимаемых процессов $p_1(t)$ и $p_2(t)$ с образцом и без образца соответственно.

Если значения снимаются через равные промежутки времени взаимную корреляционную функцию сигналов q и p , принимаемых на двух микрофонах, можно определить, как

$$K_{qp}(i\Delta\tau) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N q_j \cdot p_{j+i}, \quad (4)$$

где N – число отсчетов принимаемого сигнала,

$\Delta\tau$ – интервал дискретизации.

Ширина полосы измерительного сигнала определяется, как

$$\Delta f = \frac{1}{\Delta\tau}. \quad (5)$$

Если интервал дискретизации измеряемых случайных процессов, а следовательно и взаимной корреляционной функции – $\Delta\tau$, а количество отсчетов взаимной корреляционной функции – N' , интервал дискретизации спектральной плотности мощности будет определяться как $\frac{2\pi}{N'\Delta\tau}$.

В случае неравномерной дискретизации принимаемого сигнала необходимо применять алгоритмы определения взаимной корреляционной функции с использованием интервальной корреляционной функции.

Запись аудиосигналов, вычисление взаимных спектров, передаточных функций являются стандартными функциями современных цифровых двухканальных анализаторов, основанных на использовании алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ). Больших вычислительных затрат можно избежать с помощью аппроксимации взаимной корреляционной функции и определения спектральной плотности мощности по параметрам аппроксимирующего выражения. Достаточно хороший результат можно получить, аппроксимируя взаимные корреляционные функции ортогональными функциями Лагерра

$$L_k(\tau, \alpha) = \sum_{s=0}^k \frac{k!}{(k-s)!} \cdot \frac{(-\alpha\tau)^s}{(s!)^2} e^{-\frac{\alpha\tau}{2}} \quad (6)$$

Взаимная корреляционная функция при этом представляется в виде

$$K_{xy}(\tau) = A_m \left(\sum_{k=0}^{m_n} b_{k,n} l(\tau - \tau_m) L_k(\tau - \tau_m, \alpha_n) + \sum_{k=0}^{m_n} b_{k,n} l(\tau_m - \tau) L_k(\tau_m - \tau, \alpha_n) \right), \quad (7)$$

где A_m – значение максимума взаимной корреляционной функции,

$$\beta_{k,n} = \alpha_n \int_0^{\infty} K_{xy}(\tau) L_k(\tau, \alpha_n) d\tau, \quad (8)$$

$$\beta_{k,n} = \alpha_n \int_0^{\infty} K_{xy}(\tau) L_k(\tau, \alpha_n) d\tau, \quad (9)$$

$$l(\tau) = \begin{cases} 1, & \tau > 0; \\ \frac{1}{2}, & \tau = 0; \\ 0, & \tau < 0; \end{cases} \text{ и } l(-\tau) = \begin{cases} 0, & \tau > 0; \\ \frac{1}{2}, & \tau = 0; \\ 1, & \tau < 0. \end{cases} \quad (10)$$

На рис. 1 представлена измерительная система для экспериментального определения величины звукоизоляции. Динамик, приводимый в действие генератором белого шума, используется в качестве источника звука. Данная система интересна тем, что при использовании двух микрофонов исключаются искажения корреляционной функции, обусловленные фазочастотными характеристиками динамика.

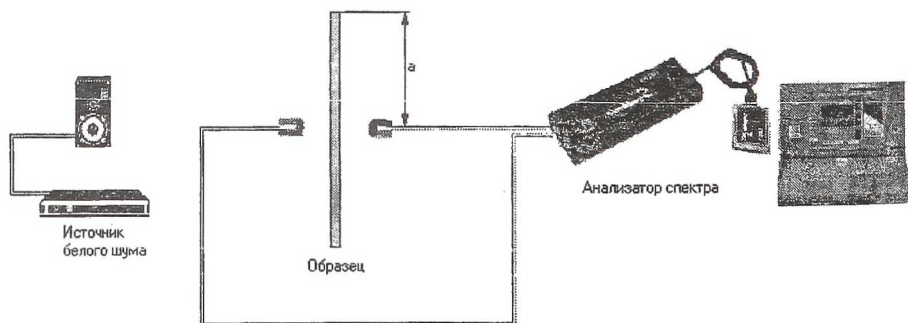


Рис. 1. Структура измерительной системы

Сигналы записываются с помощью цифрового магнитофона, встроенного в двухканальный анализатор спектра "Symphonie" компании 01dB-Steel (Франция).

Основные параметры:

соединение с компьютером	PC CARD Type II (PCMCIA)
питание	от компьютера
размеры	85x35x220 мм
Масса	560 г
запись аудиосигналов	частота выборки 51200 Гц

Микрофоны «Type 40AK» компании G.R.A.S. (Дания). Основные параметры:

номинальная чувствительность на 250 Гц	25 мВ/Па
частотный отклик	2.5 Гц – 10 кГц
напряжение поляризации	200 В
Масса	10 г

Для обеспечения возможности разделения прямого звука с групповым распространением τ_1 и следующего за ним сигнала τ_2 необходимо выполнить условие

$$\tau_2 - \tau_1 > \frac{1}{\Delta f} \quad (11)$$

путем выбора геометрии эксперимента и ширины полосы измерительного сигнала. Для узкополосных и синусоидальных сигналов это условие становится невыполнимым. Чем шире полоса f , тем выше временная разрешающая способность метода. Длина волны минимальной частоты должна составлять половину максимального размера панели; выше этой частоты можно разделить звуковой сигнал, прошедший через панель от сигнала, который огибает её по краям.

Фронт сигнала, огибающего панель, придет к микрофону примерно на $\frac{a}{c}$ сек позже, чем фронт прямого сигнала, где c – скорость звука, а – расстояние от микрофона до края панели.

Алгоритм определения передаточной функции, соответствующей частотной зависимости звукоизоляции, состоит в последовательном измерении взаимных корреляционных функций сигналов без образца и с образцом, и вычислении по ним передаточной функции образца. На рис. 2 приведены взаимные корреляционные функции, полученные при использовании в качестве преграды фанерной панели.

После сравнения функций возможно выделение пика, обусловленного прямым звуком ($\tau = 0,5-0,6$ мс). Для определения спектральной плотности мощности при анализе исключались другие интенсивные составляющие, обусловленные дифракцией звука. В результате аппроксимации

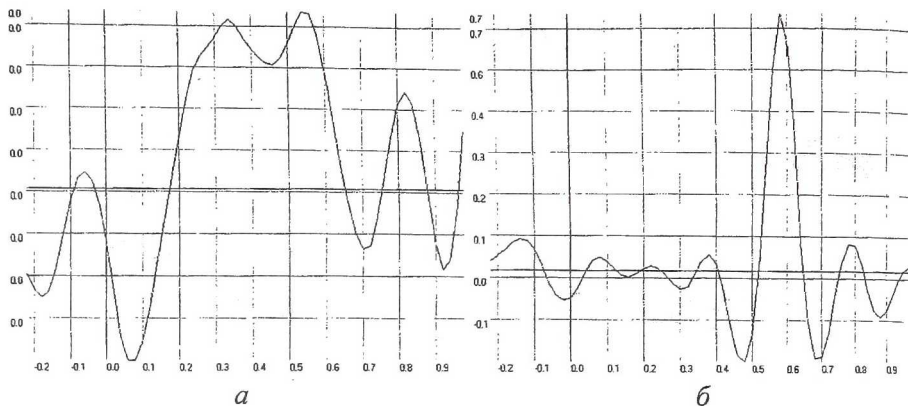


Рис. 2. Взаимные корреляционные функции с установленной панелью (а) и без нее (б)

взаимных корреляционных функций ортогональными функциями Лагерра были получены выражения для спектральной плотности мощности, представленные на рис. 3.

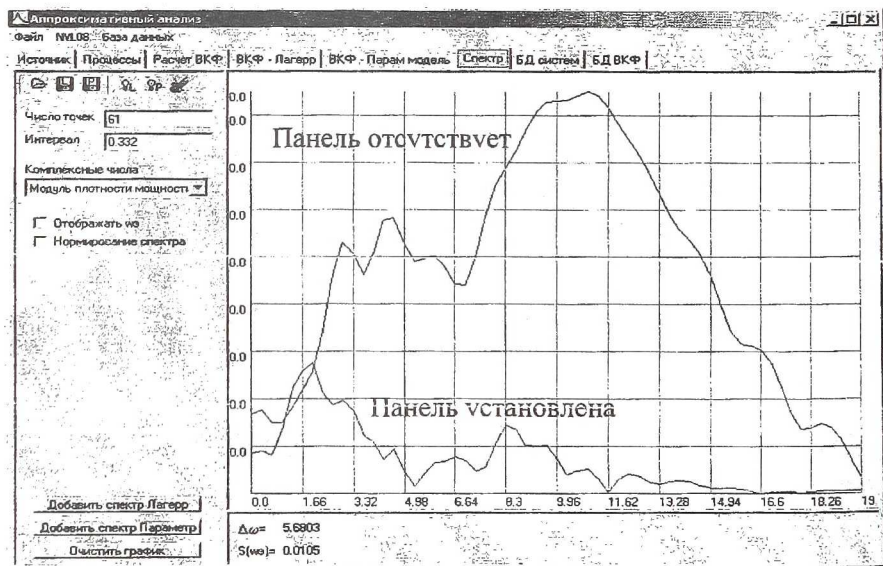


Рис. 3. Взаимные спектральные плотности мощности при установленной панели и в ее отсутствии

Частотные зависимости звукоизоляции преграды для фанерной и стальной панелей приведены на рис. 4.

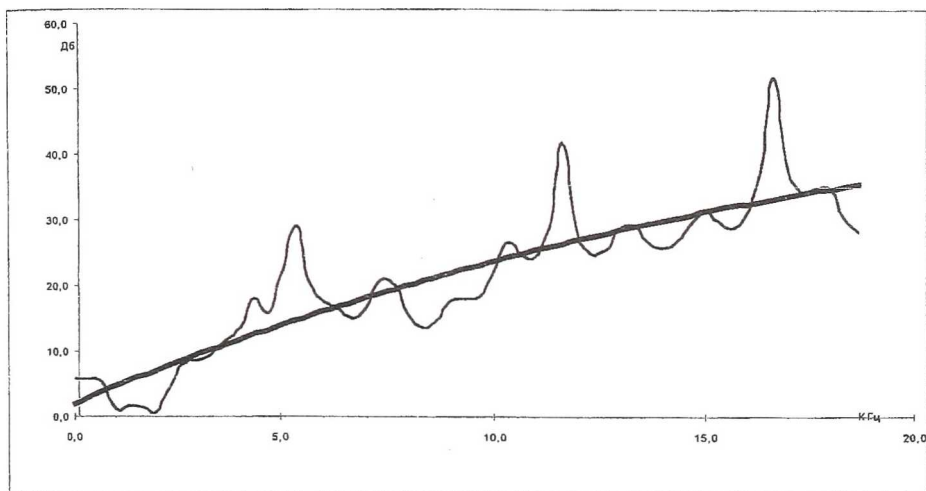


Рис. 4. Функция звукопоглощения фанерной панели

При использовании предлагаемого метода измерения звукоизоляции не требуется сооружения специальных заглушенных или реверберационных камер. Измерения могут производиться в неприспособленных помещениях в условиях фонового шума. Метод удобен для измерения звукоизоляции элементов самолетных конструкций (панелей) как в лабораторных, так и в натуральных условиях.

ГУМАНИТАРИЗАЦИЯ ЗНАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ВУЗОВСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Тараносова Г.Н., Андреева Л.И.

Тольяттинский государственный университет, гимназия №77 г. Тольятти

Одна из важнейших проблем XXI века связана с все увеличивающимся разрывом в развитии естественных и гуманитарных знаний и, как ни парадоксально, существенным отставанием последних, то есть гуманитарных, хотя именно они "свойственны человеческой природе" (пер. с латинского). Мы живем в техногенной культуре, что делает особенно актуальным формирование гуманитарного сознания. Первостепенность такого процесса чутко уловлена учеными-гуманистами.

Так, например наш выдающийся современник Д.С.Лихачев прямо заявил, что мыслит себе XXI век веком развития гуманитарной культуры, культуры доброй и воспитывающей, закладывающей свободу выбора про-