

УДК 620.1

А.В. Козлова¹, С.М. Никулин^{1, 2}, О.Ю. Кустов¹

A.V. Kozlova¹, S.M. Nikulin^{1, 2}, O.Yu. Kustov¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет
²Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов

¹Perm National Research Polytechnic University

²Ural Research Institute of Composite Materials

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПОРИСТОГО ЯЧЕИСТОГО УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE ACOUSTICAL CHARACTERISTICS OF THE HIGH-POROSITY POROUS CARBON MATERIAL

Проведены акустические испытания высокопористого ячеистого углеродного материала на интерферометре. Образцы испытаны в диапазоне частот 0–6,5 кГц при разных уровнях звукового давления. Получены зависимости коэффициента звукопоглощения однослойных образцов из высокопористого ячеистого углеродного материала.

Ключевые слова: звукопоглощающая конструкция, высокопористый ячеистый углеродный материал, углерод, коэффициент звукопоглощения, шумопоглощение, звуковое давление, пенополиуретан, интерферометр.

Acoustic testing high-porosity porous carbon material with an interferometer made in this work. Samples were tested in the range 0–6,5 kHz frequency, at different levels of sound pressure. The dependence of sound absorption coefficient of single-layer samples from high-porosity porous carbon material.

Keywords: sound-absorbing structures, highly porous cellular carbon material, carbon, sound absorption coefficient, noise absorption, sound pressure, polyurethane foam, interferometer.

Снижение шума реактивных двигателей – одна из проблем современной авиации, которую необходимо решить. Необходимость снижения шума проявляется в случае применения реактивных двигателей на пассажирских самолетах.

Конкурентная борьба среди известных авиакомпаний и изготовителей авиационной техники привела к образованию шкалы приоритетов при создании новых самолетов, где второе место после безопасности полетов занимает необходимость снижения шума самолетов. Нормы ИКАО, принятые в начале 2013 г., ужесточили требования к новым самолетам. Эти нормы будут реализованы в два этапа к 2020 г. [1].

Одним из способов решения проблемы снижения шума при проектировании летательных аппаратов (ЛА) является необходимость использования звукопоглощающих конструкций (ЗПК). Применение конструкций с наполнителем позволяет не только снизить уровень шума в пассажирских самолетах, но и уменьшить массу ЛА, что ведет к сокращению затрат на топливо (это является несомненным плюсом для авиакомпаний) [2].

В настоящее время для ЗПК используются следующие материалы: полимерные (акустическая эффективность достигается за счет конструктивно-технологических решений: геометрии ЗПК, перфорации слоев, – поэтому эти материалы используют для ЗПК резонансного типа), пористоволокнистые полимерные и металлические (шумопоглощение таких материалов связано с технологией их получения и формируемой при этом структурой), воздухопроницаемые (используются в качестве слоев между сотовыми наполнителями). Толщина этого слоя может быть разной, в зависимости от требований, которые применяются к конструкции [3–5].

Целью данной работы является определение акустических свойств высокопористого ячеистого углеродного материала (ВПЯУМ) (коэффициент звукопоглощения α – характеристика поглощения шума). Коэффициент звукопоглощения равен 1, если материал полностью поглощает звук; в случае, когда звуковая волна отражается, коэффициент звукопоглощения равен 0. Коэффициент звукопоглощения можно рассчитать по формуле

$$\alpha = \frac{E_{\text{рас}} + E_{\text{прош}}}{E_{\text{пад}}},$$

где $E_{\text{рас}}$ – волна, рассеянная в материале; $E_{\text{прош}}$ – волна, прошедшая через материал; $E_{\text{пад}}$ – падающая звуковая волна.

Для проведения испытаний были изготовлены образцы нескольких видов в Уральском научно-исследовательском институте композиционных материалов (ОАО «УНИИКМ»). Они имеют дискообразную форму, диаметр – 29 мм, высота – 5 мм, состоят из пористого наполнителя и форполимера, который выступает в роли матрицы. Для снижения кажущейся плотности материала было принято решение о модификации матрицы. В результате получилось несколько групп образцов.

Образцы первой группы представляют собой высокопористый ячеистый углеродный материал с открытыми порами.

Вторая группа образцов – пористые материалы, но поры заполнены эластичной матрицей.

Третья группа представляет собой образцы, выполненные из пористого наполнителя, и матрицы со сформированными несплошностями. При формировании матрицы форполимер разбавили нефтяным растворителем.

Четвертая группа образцов представляет собой пористый наполнитель и матрицу с пораами внутри и на поверхности материала, для их формирования во форполимер ввели порофор.

Получение ВПЯУМ связано с получением ячеистой структуры из высокопористого сетчато-ячеистого полимера (например, эластичного пенополиуретана (ППУ) с разным размером ячеек) [6, 7].

Термическая обработка обеспечивает удаление ППУ из заготовок, они подвергаются пиролизу, газообразные продукты которого удаляются без нарушения структуры ячеистого материала. Одним из параметров, определяющих свойства материала, является размер ячеек ППУ¹ [8].

Испытания проводились в лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа (ЛМГШиМА) Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) на интерферометре с нормальным падением волн (рис. 1). Установка была спроектирована сотрудниками ЛМГШиМА. Она состоит из персонального компьютера, анализатора спектра, усилителя, динамика, микрофона и импедансной трубы. На интерферометре можно выполнить исследования с созданием давления до 160 дБ и частоты до 6500 Гц [8].

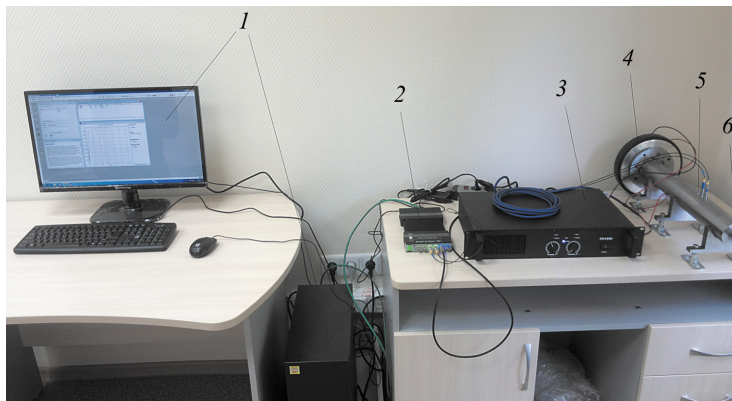


Рис. 1. Установка «Интерферометр с нормальным падением волн»:
1 – персональный компьютер; 2 – анализатор спектра; 3 – усилитель;
4 – динамик; 5 – микрофон; 6 – импедансная труба [8]

В результате акустических испытаний ВПЯУМ, модифицированного различными видами матриц, были получены зависимости коэффициента звукопоглощения от частоты при разных уровнях звукового давления (кривая 1 – 140 дБ, кривая 2 – 150 дБ).

¹ Способ получения высокопористого ячеистого углеродного материала: пат. 2578151 Рос. Федерация / В.Ю. Чунаев, С.М. Никулин, А.В. Рожков, П.Г. Удинцев. Оpubл. 2015. Бюл. № 8.

Результаты исследования позволяют сделать вывод, что ВПЯУМ с различными модификациями матриц наиболее эффективен в зоне высоких частот и достигает максимального значения $\alpha \geq 1$ при различных уровнях звукового давления. На рис. 2 представлена зависимость коэффициента звукопоглощения от частоты образцов третьей группы.

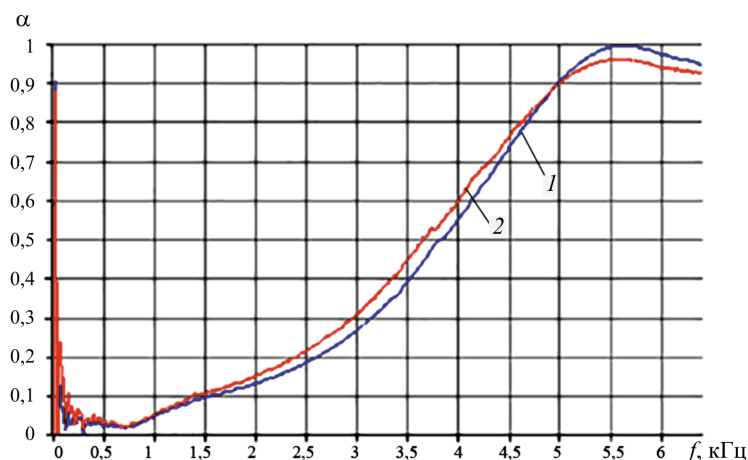


Рис. 2. Коэффициент звукопоглощения материала, состоящего из пористого наполнителя и разбавленной матрицы: кривая 1 – 140 дБ; кривая 2 – 150 дБ

В дальнейшем планируется провести испытания на комбинированных образцах (двух и более слоях) и наиболее крупными ячейками ППУ, заполненными разной матрицей, определить физико-механические характеристики (тепло- и электропроводность, термостойкость, прочность на растяжение (сжатие) и изгиб), устойчивость к вибрации.

Список литературы

1. Дударев А.С. Анализ технологичности конструкций наполнителя звукопоглощающих панелей авиационных двигателей // Вестник Саратов. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 3. – С. 68–73.
2. Ковалев Е.С., Тиняков Д.В., Рябков В.И. Возможности гашения шума с помощью конструкций с сотовыми наполнителями // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2014. – № 63. – С. 25–32.
3. Материалы для звукопоглощающих конструкций [Электронный ресурс] / Г.Ф. Железина, Э.Я. Бейдер, А.Е. Раскутин, В.П. Мигунов, Ю.В. Смоленков // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. – № 4. – URL: <http://viam.ru/public/files/2011/2011-205873.pdf> (дата обращения: 10.03.2016).

4. Расчетно-экспериментальные исследования резонансных многослойных звукопоглощающих конструкций / А.Н. Аношкин, А.Г. Захаров, Н.А. Городкова, В.А. Чурсин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2015. – № 1. – С. 5–20.

5. Efimik V.A., Chekalkin A.A. Analysis of the dynamic behavior of sound-absorbing structures by the method of finite elements and a technique of assessment of the efficiency of noise absorption // Mechanics of Composite Materials. – 2015. – Vol. 51, № 1. – P. 99–114.

6. Шурик А.Г. Искусственные углеродные материалы. – Пермь, 2009.

7. Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций / Ю.В. Соколкин, А.М. Вотинов, А.А. Ташкинов, А.М. Постных, А.А. Чекалкин. – М.: Наука: Физматлит, 1996. – 240 с.

8. Кустов О.Ю., Лапин И.Н., Пальчиковский В.В. Экспериментальные исследования звукопоглощающих конструкций с перспективными формами резонаторов // Наука будущего – наука молодых: сб. тез. участников форума. – Севастополь, 2015. – Т. 1.

Получено 20.09.2016

Козлова Анастасия Викторовна – бакалавр, аэрокосмический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kozlova.nastya2011@yandex.ru.

Никулин Сергей Михайлович – начальник лаборатории 53, Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов, e-mail: photoperm@yandex.ru.

Кустов Олег Юрьевич – магистр кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы», аэрокосмический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: KustovOU@yandex.ru.