

УДК 629.7.017.

ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

©2011 В. И. Постнов¹, В. Н. Вякин², Е. А. Вешкин¹¹ Ульяновский научно-технологический центр

филиал Всероссийского института авиационных материалов

²Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния структуры панелей звукопоглощающих конструкций (ЗПК) на коэффициент звукопоглощения, измеряемого с помощью акустического интерферометра. Проведена оценка влияния на коэффициент звукопоглощения ЗПК типов сотового заполнителя, степени перфорации обшивки, типов материала сот и обшивок.

Звукопоглощающие конструкции, сотовый и трубчатый заполнитель, волокнистый заполнитель, многослойные панели.

Проблема защиты людей от вредного воздействия авиационного шума является весьма сложной и должна решаться путем осуществления комплекса мероприятий. Шум, издаваемый двигателями, имеет большой диапазон по частотам и интенсивности. Общий показатель ГТД по шуму зависит [1] от степени двухконтурности двигателя и свойств звукопоглощающих конструкций (ЗПК), использованных в каналах двигателя и мотогондолах. В практике снижения шума пассажирских самолетов широкое применение получили резонансные, так называемые «сотовые» звукопоглощающие конструкции, состоящие из обращенного к потоку перфорированного листа, жесткого непроницаемого основания и воздушной полости между ними, разделенной на отдельные ячейки сотовым заполнителем [1].

Анализ конструктивных особенностей мотогондол самолетов ТУ-204 и Ан-124 показал, что в качестве ЗПК используются трех- и пятислойные панели с сотовым и трубчатым заполнителем, металлическими или композиционными обшивками.

Основное место расположения ЗПК для этих самолетов – это канал воздухозаборника и зона газогенератора. Для панелей, устанавливаемых в зоне газогенератора, применяются стеклопластики на термостойком связующем СП-97К. Все ЗПК имеют перфорацию обшивок отверстиями диаметром $2 \div 2,5$ мм со степенью перфорации от 5% у канала воздухозаборника ТУ-204 до 19% в ЗПК Ан-124. В пятислойных панелях дополнительно выполнена перфорация сред-

них обшивок отверстиями диаметром 2,5 мм со степенью перфорации 14%. Самолеты ТУ-204 и Ан-124 после установки новых ЗПК прошли сертификацию по уровню шума на местности в соответствии со стандартом ИКАО, но с минимальным запасом. Проведенный анализ показал необходимость выполнения работ по повышению эффективности ЗПК в направлении применения новых материалов, оптимизации степени перфорации, применения интегральных заполнителей (т.е. совмещение в одной конструкции поглотителей резонансного, мембранного типа, поропластов и волокнистых материалов).

Анализ существующих методов по оценке шумопоглощения показал, что основными характеристиками ЗПК, которые определяют ее звукопоглощающую способность, являются: частотная характеристика коэффициента звукопоглощения α и импеданса z , определяющая волновое сопротивление материала [2]. Измерение этих характеристик производится:

- 1) с помощью акустических интерферометров;
- 2) в реверберационных камерах;
- 3) в акустическом канале с потоком.

Измерение по методу 1 выполняется с помощью трубы (акустический интерферометр), в которой создается плоская звуковая волна. На одном конце трубы помещают излучатель звука, на другом – исследуемый образец. Измерив звуковое давление в пучностях и узлах стоячей звуковой волны и расстояние первого узла от поверхности об-

разца, вычисляют коэффициент звукопоглощения и импеданс (в долях волнового сопротивления воздуха) для нормального падения звуковой волны. Измерение по методу 2 основано на измерении времени реверберации звука в пустой реверберационной камере и в ней же после размещения образца. Реверберационная камера представляет собой сложную акустическую конструкцию с объемом рабочей области не менее 200 м³. Данный способ позволяет получить значение диффузного коэффициента звукопоглощения и импеданса на образцах, приближенных к реальной самолетной панели по размерам и конструкции. Измерения по методу 3 проводятся при больших скоростях потока воздуха и высоком уровне звукового давления. Такие условия встречаются в местах установки ЗПК в каналах силовых установок ГТД. Учитывая особенности условий измерений на разных этапах разработки ЗПК, целесообразно применять один из рассмотренных методов оценки шумопоглощения: метод 1 – для выявления перспективных материалов и их комбинаций в составе ЗПК на плоских образцах диаметром (30-100) мм; метод 2 – для уточнения эффективности образцов, отобранных по методу 1, в составе конструкций максимально приближенных по форме и размерам к реальной самолетной конструкции; метод 3 – для оценки эффективности образцов, отобранных по методу 1 и 2, при работе в условиях, максимально приближенных к условиям работы в двигателе. Исходя из целевой установки и учитывая большие затраты на испытания по методу 2 и 3, для исследования звукопоглощающих характеристик панелей был выбран метод измерения с помощью акустического интерферометра [3, 4].

Из анализа конструкций ЗПК ТУ-204 и АН-124 для изготовления опытных образцов ЗПК были выбраны:

- в качестве заполнителей: соты ТССП-7-10П ($H=23$ мм); соты ССП-1-2,5 ($H=20$ мм); соты алюминиевые с ячейкой 2,5 ($H=20$ мм); трубчатый заполнитель сечением 8x12 мм с толщиной стенок 0,2 мм;
- в качестве материала для обшивок препрег Т-10-80 на связующем ЭДТ-69Н;
- в качестве базовой обшивки выбрана

обшивка в виде 3 слоев препрега Т-10-80 на связующем ЭДТ-69Н. Толщина обшивки 1,3 мм.

Выбор базовой толщины сот - 20 мм сделан с целью получить толщину образцов, близкую к типовой толщине ЗПК на ТУ-204 и АН-124. Толщина обшивки выбрана с целью проведения испытаний образцов в сравнении с образцами, имеющими обшивку из листов Д16 (типовая толщина обшивок 1,3 мм).

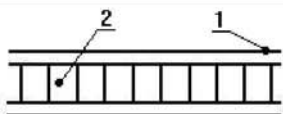
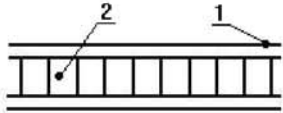
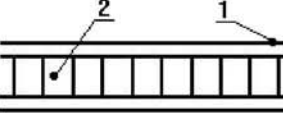
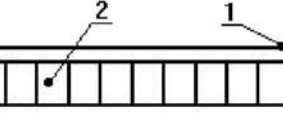
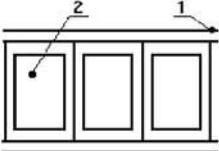
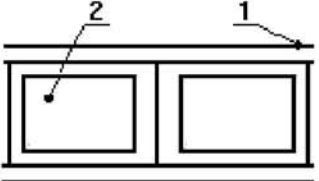
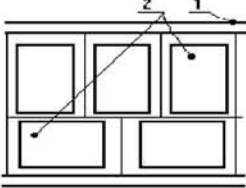

Изготовление трехслойных панелей с обшивками на основе препрега Т-10-80 на связующем ЭДТ-69Н толщиной 1,3 мм (3 слоя препрега со схемой выкладки (0°-90°-0°) проводилось по бесклеевой технологии методом одновременного формования. Формование проводилось на обогреваемой оснастке. Из панелей вырезались образцы диаметром 123 мм для испытаний на акустическом интерферометре. Первая группа образцов состояла из образцов №101÷107, описание которых дано в табл. 1.

Измерения коэффициента звукопоглощения (α_0) выполнены на образцах панелей № 101÷105 без перфорации обшивок и с перфорацией одной обшивки отверстиями диаметром 2 мм со степенью перфорации $F=S_{\text{отверстий}}/S_{\text{поверхности}}$ 2,4,8,16 %. Измерения выполнялись при уровне звукового давления 100 дБ на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000 Гц. Образец располагался на жестком поршне интерферометра без воздушного зазора.

На рис. 1 приведены зависимости α_0 от частоты для разных заполнителей и при разной степени перфорации. Из анализа графиков сделаны следующие выводы:

- вид материала сот (ССП или АМГ) несущественно влияет на величину α_0 ;
- на частотах до 1000 Гц при перфорации обшивки большее значение α_0 имеют образцы с заполнителями, у которых ячейки больших размеров (с трубчатым заполнителем и сотами ТССП-10);
- на частотах более 3000 Гц наибольшее значение α_0 получено для трубчатого заполнителя с перфорацией обшивки 4%;
- увеличение перфорации до 16% на всех заполнителях в основном привело к уменьшению величины α_0 .

Таблица 1. Структура образцов для сравнения влияния типа заполнителя

№ образца	Описание образца
101	 <p>1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ТССП-10; Н=23 мм</p>
102	 <p>1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-2,5; Н=20 мм</p>
103	 <p>1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=20 мм</p>
104	 <p>1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты алюминиевые - 2,5; Н=20 мм</p>
105	 <p>1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – трубчатый заполнитель сечением 12x8 мм, толщина стенок 0,2 мм</p>
106	 <p>1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – трубчатый заполнитель сечением 8x12 мм, толщина стенок 0,2 мм</p>
107	 <p>1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – трубчатый заполнитель сечением 12x8 мм, толщина стенок 0,2 мм</p>
108	 <p>1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – ячеистый заполнитель Н=8 мм</p>

ТССП- 101 обр, ССП-2,5 – 102 обр, ССП-3,5 – 103 обр, Амг 2,5 – 104 обр, Тр Н=12 –105 обр.

С учетом полученных результатов были изготовлены образцы № 107 и 108 (табл. 1) с трубчатым двухслойным заполнителем и с ячеистым заполнителем.

Кроме того, было изготовлено 5 групп образцов:

- образцы для определения влияния толщины заполнителя ССП-3,5 (табл. 2);

- образцы с наклонными сотами ССП-3,5 толщиной 20 мм, угол наклона 0°, 15°, 45° (табл. 3);

- образцы для определения влияния структуры слоев заполнителя (табл. 4) при неизменной общей толщине;

- образцы для определения влияния вида материала обшивки (табл. 5) при неизменном заполнителе;

- специальные образцы (табл. 6) для определения влияния: перфорации стенок сот, наличия прослойки трикотажа СВМ, наличия волокнистого заполнителя АТМ-1 в ячейках сот ТССП, наличия гофрированной обшивки.

Для анализа результатов измерений данные приведены в виде графиков на рис. 2.

Таблица 2. Образцы ЗПК с различными толщинами заполнителя ССП-3,5

№ образца	Описание образца	
201		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=5 мм
202		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=10 мм
203		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=15 мм
204		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=20 мм
205		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=30 мм

Таблица 3. Образцы ЗПК с различными углами наклона заполнителя СП-3,5

№ образца	Описание образца	
305		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; угол наклона = 0°
307		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; угол наклона = 15°
306		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; угол наклона = 45°

Таблица 4. Образцы ЗПК с различными структурами слоев заполнителя

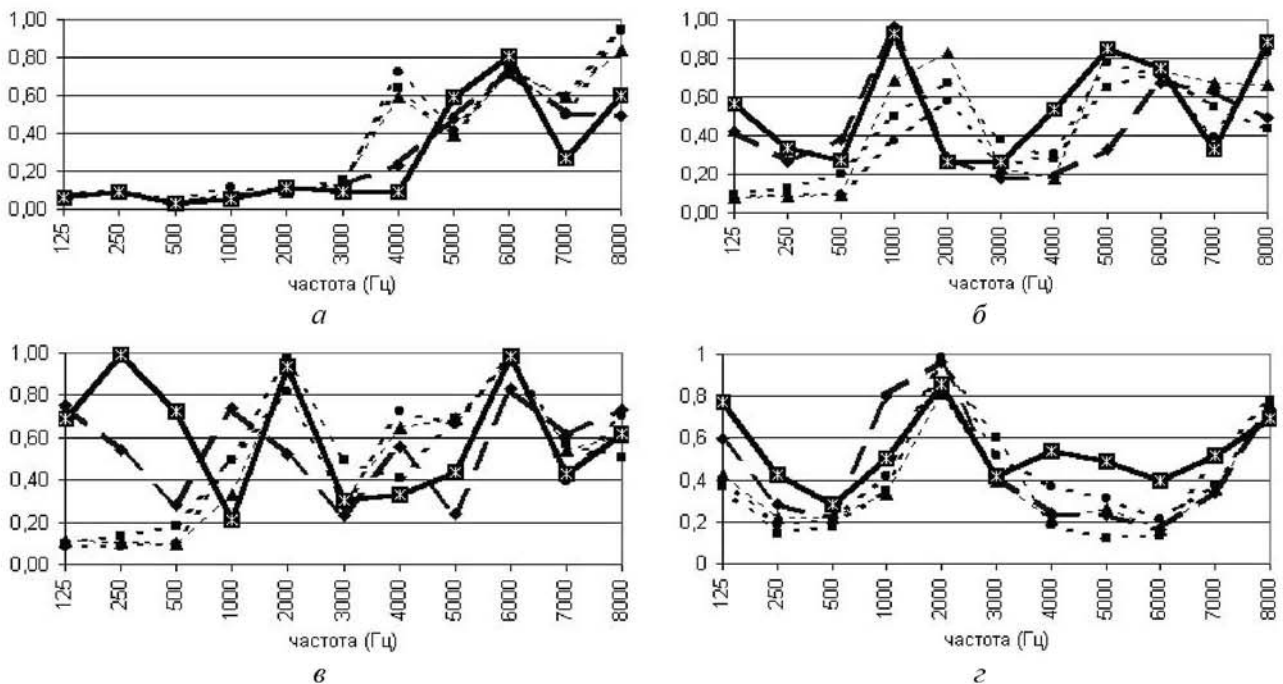
№ образца	Описание образца	
401		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=30 мм
402		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=15 мм 3 – соты ССП-3,5; Н=15 мм 4- обшивка – 1 слой препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н
403		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=10 мм – 3 слоя 3 - обшивка – 1 слой препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н
404		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=30 мм 3 – ячеистый заполнитель; Н=8 мм 4 - обшивка – 1 слой препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н
405		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=10 мм 3 – соты ССП-3,5; Н=20мм 4 - трикотаж
406		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=10 мм 3 – соты ТССП-10; Н=23 мм 4 - обшивка – 1 слой препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н
407		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=10 мм 3 – соты ССП-3,5; Н=20мм 4 - обшивка – 1 слой препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н
408		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н 2 – соты ССП-3,5; Н=10 мм 3 – соты ТССП-10; Н=23 мм 4 - трикотаж

Таблица 5. Образцы ЗК с разными видами обшивок на сотах СП-3,5 Н=20 мм

№ образца	Описание образца	
901		1 - обшивка алюминиевый сплав Д19ч; Н=1,3 мм
902		2 – соты ССП-3,5; Н=20 мм
903		1 - обшивка АЛОР; Н=1,3 мм; 2 – соты ССП-3,5; Н=20 мм
904		1 - обшивка СИАЛ; Н=1,3 мм; 2 – соты ССП-3,5; Н=20 мм
905		1 - обшивка углепластик (0°, 45°, 90°); Н=1,3 мм
		2 – соты ССП-3,5; Н=20 мм
905		1 – обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н; Н=1,3 мм
		2 – соты ССП-3,5; Н=20 мм

Таблица 6. Специальные структуры образцов ЗПК

№ образца	Описание образца	
500		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н
		2 – соты ССП-3,5; Н=20 мм перфорация стенок сот
601		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н
		2 – соты ТССП-10; Н=23 мм 3- трикотаж
602		1- обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н
		2 – соты ТССП-10; Н=23 мм заполненные АТМ-1
801		соты ССП-3,5; Н=20 мм
802		соты ССП-2,5; Н=20 мм
803		соты алюминиевые - 2,5; Н=20 мм
804		ячеистый наполнитель Н=8 мм
806		соты ТССП-10; Н=23 мм
1101		обшивка – 3 слоя препрега Т-10-80 на ЭДТ-69Н; Н=1,3 мм
1102		обшивка СИАЛ; Н=1,3 мм
1103		обшивка АЛОР; Н=1,3 мм
1105		обшивка алюминиевый сплав Д19ч; Н=1,3 мм



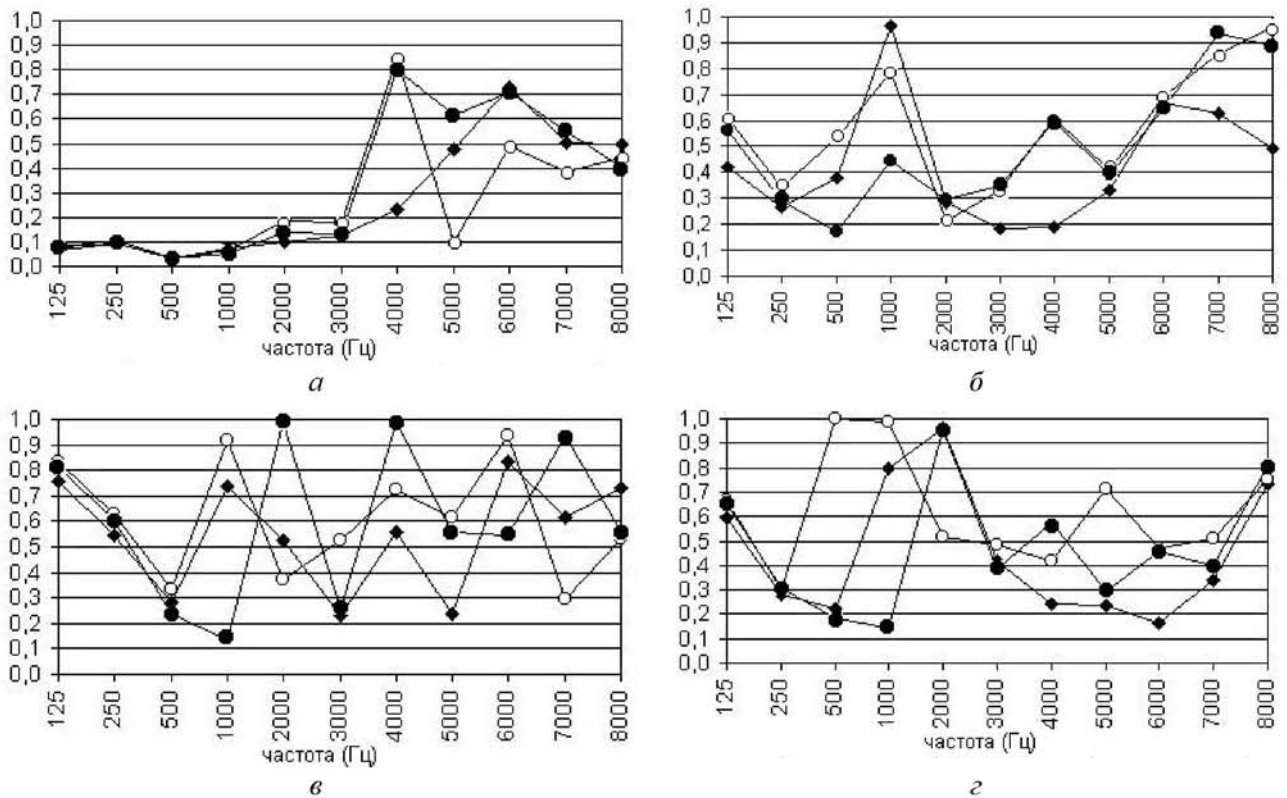


Рис. 2. Панели ЗПК с заполнителями с большой ячейкой со степенями перфорации: 0 (а), 4% (б), 8% (в), 16% (г):
 —●— образец 101 (заполнитель – соты) ТССП; —○— образец 107 (трубчатый 2- слойный заполнитель);
 - - - ● - - - образец 108 (ячеистый заполнитель)

Из сравнения графиков на рис. 2 установлено:

- на частотах менее 3000 Гц наибольшее значение α приблизительно 0,6 имеет образец трубчатый 2- слойный с перфорацией 8 и 16%;
- все образцы на частотах меньше 1000 Гц имеют величину α в 2-3 раза больше, чем образцы с заполнителями с мелкой ячейкой (типа ССП-3,5);
- на частотах больше 3000 Гц образцы «Тр. 2-сл.» и «ячеистый» имеют величину α , сравнимую с величиной α для сот с мелкой ячейкой.

Из анализа графиков на рис. 3 получено:

- прослеживается сдвиг максимума значения α в сторону низких частот при увеличении высоты сот (особенно при перфорации 16 %);
- на частотах меньше 1000 Гц размер ячейки сот является главным фактором, поэтому образцы с разной высотой сот имеют одинаково низкие значения $\alpha = 0,2 \div 0,3$;
- на частотах больше 2000 Гц наибольшее среднее значение $\alpha = 0,6$ имеет образец с высотой сот $H = 10$ мм.

Из анализа графиков на рис. 4 не выявлено влияния угла наклона сот (изменение угла от 0 до 45°) на величину α во всем диапазоне частот. Возможно слабая чувствительность к углу наклона обусловлена мелкой ячейкой сот.

Анализ графиков на рис. 5 показал, что образцы с различной разбивкой заполнителя на слои имеют сходные значения α . Наличие пика на частоте 1000 Гц в сравнении с пиком на 2000 Гц для сот с $H = 20$ мм показывает, что более существенное влияние оказала суммарная высота пакета ($H = 30$ мм).

На рис. 6 даны результаты измерения со стороны слоя сот ССП-3,5 ($H = 10$ мм). Из анализа графиков видно:

- на частотах больше 2000 Гц образцы имеют значения α , сходные между собой и аналогичные как у образца с сотами ССП-3,5 $H = 30$ мм (рис. 5);
- на частотах меньше 2000 Гц образцы с прослойкой трикотажа имеют более высокое значение α вплоть до смещения максимума на частоту 500 Гц (при перфорации 4%).

Следует отметить, что образец с трикотажем со вторым слоем из сот ТССП имеет большее α при частоте 1000 Гц, чем образец со вторым слоем ССП-3,5.

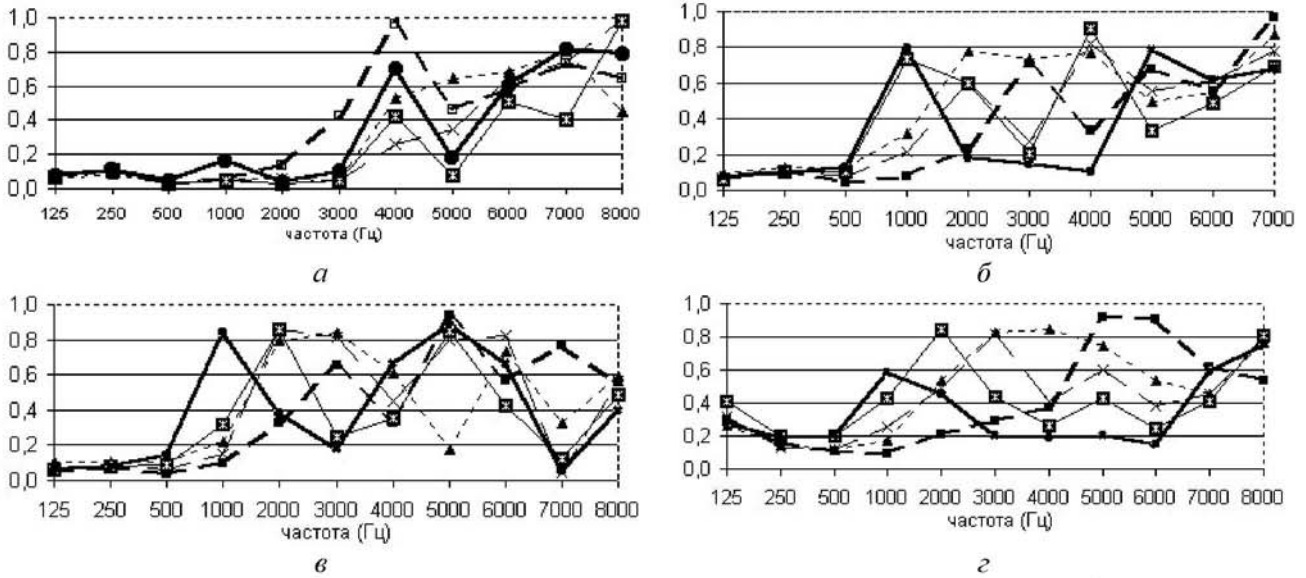


Рис.3. Панели ЗПК с сотовым заполнителем ССП-3,5 со степенями перфорации: 0 (а), 4% (б), 8% (в), 16% (г) разной высоты: - - ■ - - Н = 5 мм (образец 201); - - ▲ - - Н = 10 мм (образец 202); - - ✕ - - Н = 15 мм (образец 203); - - ■ - - Н = 20 мм (образец 204); - - ● - - Н = 30 мм (образец 205)

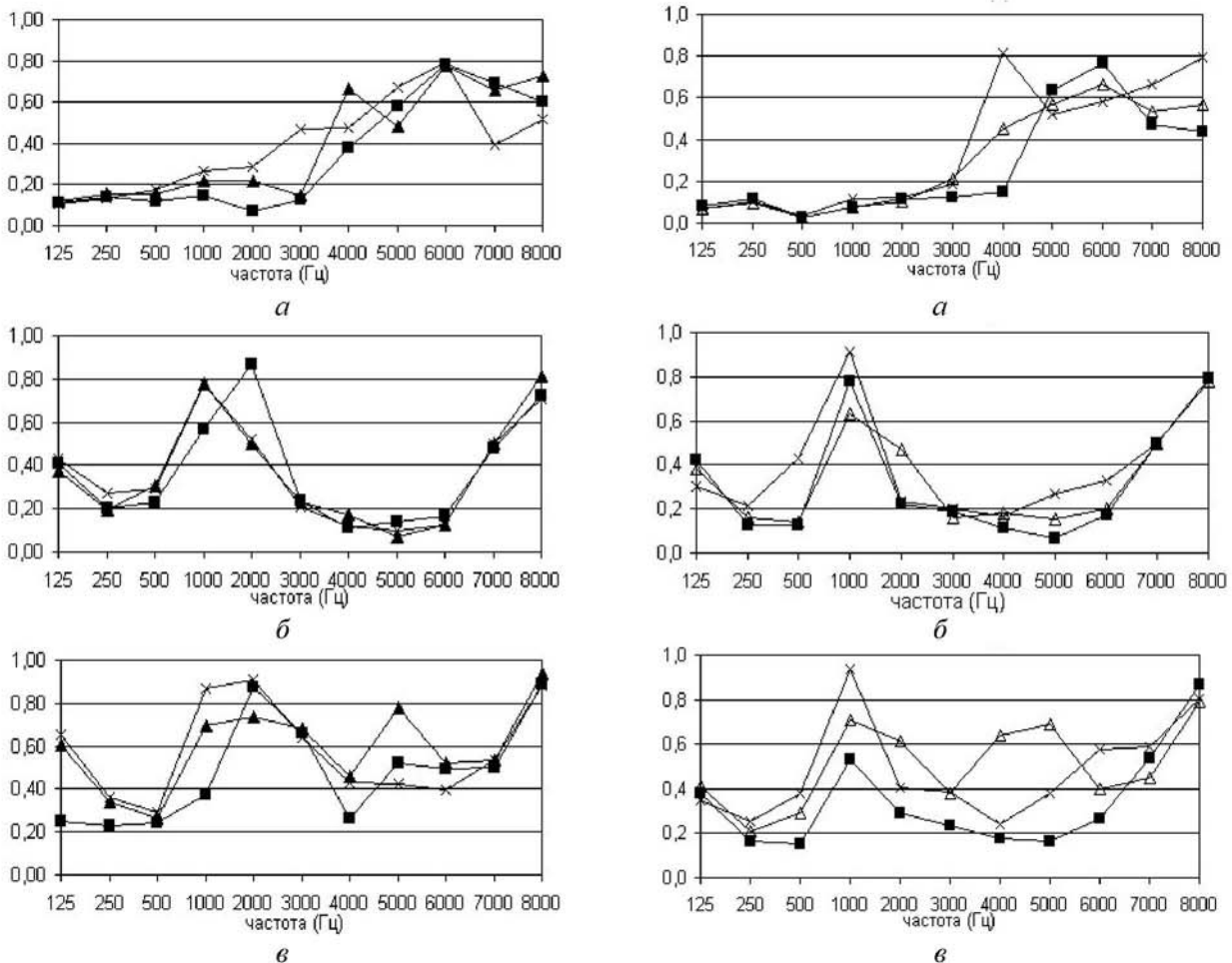


Рис. 4. Панели ЗПК с сотовым заполнителем ССП-3,5 Н=20 мм со степенью перфорации 0 (а), 4% (б), 16% (в) с разным углом наклона сот: - - ■ - - 0 (образец 305); - - ▲ - - 15° (образец 307); - - ✕ - - 45° (образец 306)

Рис. 5. Панели ЗПК со степенью перфорации 0 (а), 4% (б), 8% (в) с заполнителем в виде нескольких слоев ССП-3,5 разной толщины: - - ■ - - 30 мм (образец 401); - - ▲ - - 15 мм+Т-10-80+15 мм (образец 402); - - ✕ - - 10 мм+Т-10-80+10 мм+Т-10-80+10мм (образец 403)

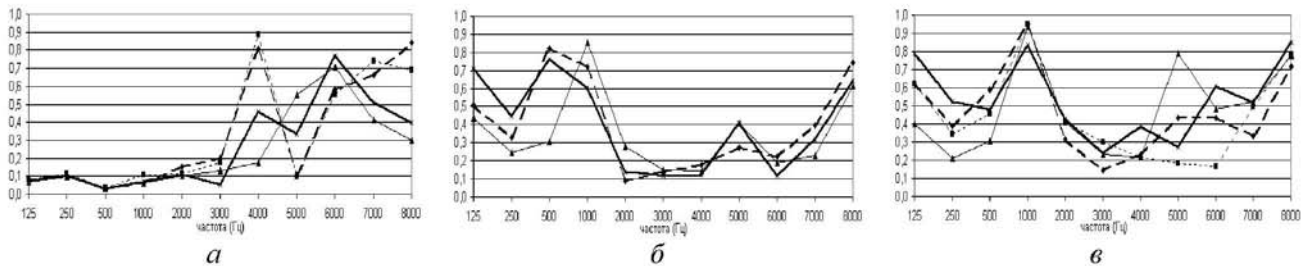


Рис. 6. Панели ЗПК со степенью перфорации 0 (а), 4% (б), 8% (в) с промежуточным пористым слоем в виде трикотажного полотна СВМ:

- ◆— образец 405 – ССП-3,5 Н=10мм+трикотаж+ССП-3,5 Н=20 мм;
- ▲- образец 407 – ССП-3,5 Н=10мм+Т-10-80+ТССП-10 Н=20 мм;
- ×- образец 408 – ССП-3,5 Н=10мм+трикотаж+ТССП-10 Н=20 мм

Из графиков на рис. 7 видно, что изменение материала обшивки не оказывает существенного влияния на величину α . Особый интерес представляет пик на 5000 Гц (перфорация 8%). Здесь интенсивность пика нарастает при изменении материала обшивки (углепластика – Д16 – АЛОР – СИАЛ – Т-10-80 на ЭДТ-69Н), возможно это обусловлено уменьшением модуля упругости на изгиб материала обшивки.

Из графиков на рис. 8 можно сделать вывод, что однозначно видна тенденция к

увеличению величины α на частотах меньше 2000 Гц при перфорации стенок сот. Некоторая слабость этой тенденции, видимо, обусловлена низкой степенью перфорации стенок сот (менее 5 %) и большим диаметром отверстий (около 1,5мм).

Из графиков на рис. 9 видно, что наличие АТМ-1 в ячейках сот проявилось только при перфорации 16 % на частотах больше 2000 Гц. Возможно, это обусловлено низкой степенью уплотнения АТМ-1 при закладке в ячейки сот.

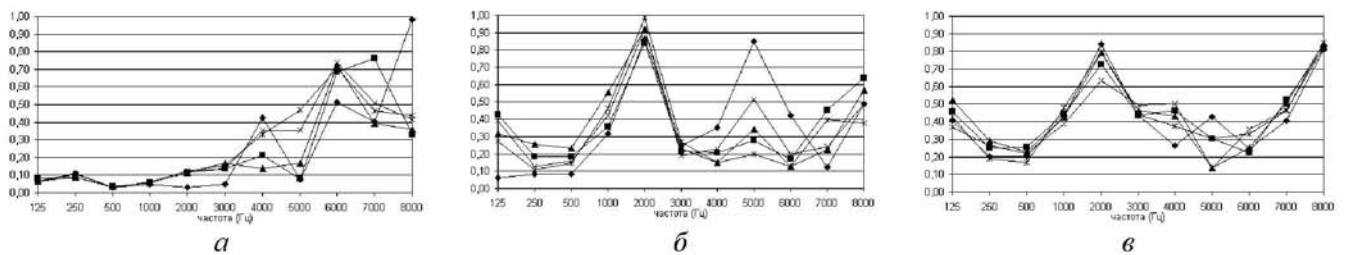


Рис. 7. Панели ЗПК с различными обшивками (соты ССП-3,5 Н=20 мм) со степенью перфорации 0 (а), 8% (б), 16% (в):

- ◆— образец 204 - Т-10-80 на ЭДТ-69Н – 3 слоя $v=1,3$ мм
- образец 901 - лист Д16 $v=1,3$ мм
- ▲- образец 902 - лист АЛОР $v=1,3$ мм
- ×- образец 904 - лист СИАЛЗ-2/1 $v=1,3$ мм
- *— образец 905 – углеткань ЛУП-0,1 на ЭДТ-69Н ($0^0, 45^0, 90^0, 10$ слоев) $v=1,3$ мм

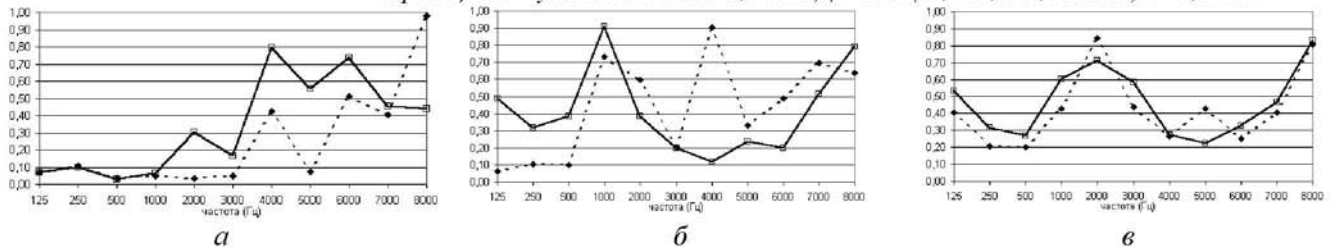


Рис. 8. Влияние перфорации боковых стенок сот в панелях ЗПК с сотами ССП-3,5 Н=20 мм со степенью перфорации 0 (а), 4% (б), 16% (в):

- ◆— образец 204 (стенки сот не перфорированы);
- образец 500 (стенки сот перфорированы)

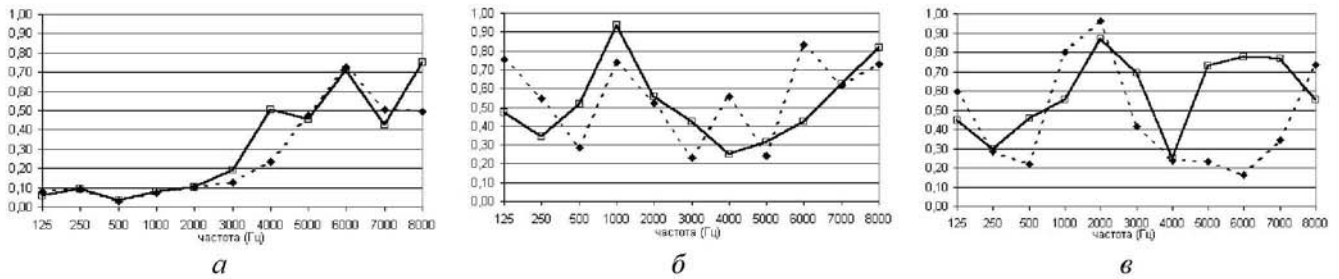


Рис. 9. Влияние наличия волокнистого наполнителя (АТМ-1) в ячейках сот панелей ЗПК:

—◆— образец 101 – соты ТССП-10;
 —□— образец 602 – соты ТССП-10+АТМ-1.
 Степень перфорации 0 (а), 4% (б), 16% (в)

Кроме того, сравнительная оценка звукопоглощения образцов разных конструкций при перфорации обшивки от 0 до 16% показала:

-материал сот и обшивок слабо влияет на величину α (коэффициент звукопоглощения);

-образцы с наполнителем с крупной ячейкой (соты ТССП, трубчатый наполнитель) имеют более высокое значение величины α на частотах менее 2000 Гц;

-увеличение высоты сот приводит к увеличению величины α на частотах менее 2000 Гц;

-не выявлено влияния угла (от 0 до 45°) наклона сот ССП-3,5 на величину α ;

-применение трикотажного полотна СВМ в качестве пористого слоя между слоями сот привело к увеличению величины α на частотах до 2000 Гц;

-перфорация стенок сот дала устойчивое (но слабое) повышение величины α на частотах до 2000 Гц.

Это обусловлено низкой степенью перфорации стенок сот (менее 5%) и большим диаметром отверстий (около 1,5 мм);

-набивка ячеек сот волокнистым материалом АТМ-1 дала эффект только при перфорации обшивки=16%, что, возможно, обусловлено низкой степенью уплотнения АТМ-1.

Библиографический список

1. Авиационная акустика. Ч. 1. [Текст] - М.: Машиностроение, 1986. - 244 с.
2. Борьба с шумом [Текст] / под ред. д-ра техн. наук, проф. Е.Я. Юдина – М.: Строительство, - 1964. - 701 с.
3. Цвиккен, К. Звукопоглощающие материалы [Текст] / К. Цвиккен, К. Костен – М.: Иностранная литература, 1952. - 160 с.
4. Тюлин, В.Н. Введение в теорию излучения и рассеяния звука [Текст] / В.Н. Тюлин. - М.: Наука, 1976. - 254 с.

RESEARCH AND OPTIMIZATION OF THE CHOICE SOUND-ABSORBING STRUCTURES

© 2011 V. I. Postnov¹, V. N. Vyakin², E. A. Veshkin¹

¹Ulyanovsk centre of science-technological of the federal state unitary enterprise «All-Russian institute of aviation materials»

² Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University)

This paper presents the results of a study influence the structure of sound-absorbing panels structures (CLP) for sound absorption, measured using an acoustic interferometer. The estimation of influence on the sound absorption coefficient of ZPK honeycomb type, degree of perforation of casing, type of material and hundreds of skins.

Sound-absorbing structure, honeycomb and tubular filler, fibrous filler, sandwich panels.

Информация об авторах

Постнов Вячеслав Иванович, доктор технических наук, доцент, заместитель начальника Ульяновского научно-технологического центра федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский институт авиационных материалов». Тел.: 8(8422) 52-45-22. E-mail untcviam@gmail.com. Область научных интересов: конструкции из композиционных материалов.

Вякин Вениамин Николаевич, кандидат технических наук, доцент, директор научно-технологического центра композиционных материалов (НТЦ КМ) Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел.: 8-(846)-267-47-69. E-mail vyakin@ssau.ru. Область научных интересов: конструкции из композиционных материалов.

Вешкин Евгений Алексеевич, начальник сектора Ульяновского научно-технологического центра федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский институт авиационных материалов». Тел.: 8(8422) 52-45-22. E-mail untcviam@gmail.com. Область научных интересов: конструкции из композиционных материалов.

Postnov Vyacheslav Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, deputy chief of the Ulyanovsk centre of science-technological of the federal state unitary enterprise «All-Russian institute of aviation materials». Phone: 8(8422) 52-45-22. E-mail untcviam@gmail.com. Area of Research: Composite and Structures.

Vyakin Veniamin Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, head of the composite materials research centre, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University) Samara State Aerospace University. Phone: (+7-846) 267-47-69, E-mail vyakin@ssau.ru. Area of research: Composite and Structures.

Veshkin Evgenie Alekseevich, Chief of sector of the Ulyanovsk centre of science-technological of the federal state unitary enterprise «All-Russian institute of aviation materials». Phone: 8 (8422) 52-45-22. E-mail untcviam@gmail.com. Area of research: designs from composites.