

## Исследование влияния новых вибродемпфирующих материалов и способов крепления панели интерьера на звукоизолирующую способность фюзеляжной панели

А.Я. Зверев,\* В.В. Черных†

Центральный аэрогидродинамический институт имени проф. Н.Е. Жуковского  
(ФГУП «ЦАГИ»), Россия, 105005 Москва, ул. Радио, д. 17  
(Статья поступила 14.11.2014; Подписана в печать 10.12.2014)

Проведен ряд поисковых экспериментальных исследований по увеличению звукоизоляции фюзеляжной панели. Определены оптимальные варианты размещения вибродемпфирующих материалов на фюзеляжной конструкции с точки зрения снижения шума в салоне самолета. Получены результаты, демонстрирующие существенное увеличение звукоизоляции фюзеляжной панели при определенном способе крепления панели интерьера в широком диапазоне частот. Отработаны методики проведения таких исследований в реверберационных камерах.

PACS: 43.40.-г

УДК: 534.2

Ключевые слова: шум в салоне, звукоизоляция, вибропоглощение.

### ВВЕДЕНИЕ

Значимые результаты по оценке эффективности использования вибропоглощающих материалов получены в пионерских теоретических и экспериментальных работах А.С. Никифоровым [1], Б.Д. Тартаковским [2-4] и др. еще в конце 50-ых и в течение 60-ых годов, в основном, применительно к судовой акустике. В последнее время появилось множество звуко- и вибропоглощающих материалов для улучшения акустического комфорта салонов современных пассажирских самолетов. Новые материалы обладают, как правило, нелинейными свойствами, и дать оценку их эффективности расчетным путем не представляется возможным. Это относится и к выбору оптимального способа крепления панели интерьера к фюзеляжной конструкции. Решение задач оптимального использования звукопоглощающих и вибропоглощающих материалов и их рационального расположения на фюзеляжной конструкции (комбинации этих материалов), а также способа крепления панели интерьера можно получить только в эксперименте. Такие работы были проведены в реверберационных камерах акустического стенда АК-11 (г. Дубна, Московская обл.).

камер, одной заглушенной камеры (ЗК) с объемом свободного пространства  $750 \text{ м}^3$  и двух реверберационных камер (РК1 и РК2) с соответствующими объемами  $210 \text{ м}^3$  и  $220 \text{ м}^3$ . Три камеры последовательно соединены двумя проемами  $2,8 \times 2,1 \text{ м}$ , которые позволяют испытывать панели летательных аппаратов размерами  $1,5 \times 1,5 \text{ м}$  и  $2,2 \times 1,5 \text{ м}$  путем установки их в специальные кассеты и вставки.

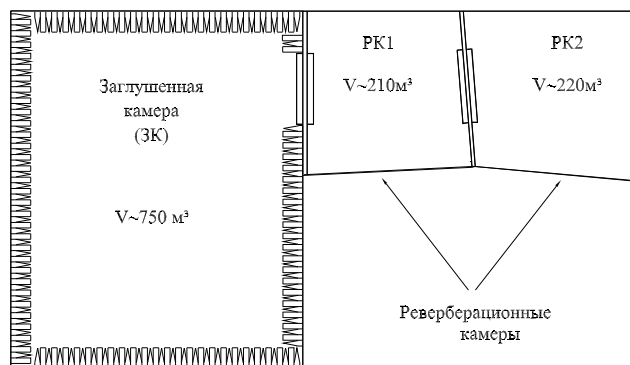


Рис. 1: Схема звукомерных камер акустического стенда АК-11

### 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ, МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

#### А. Акустический стенд

Испытания проводились в реверберационных камерах акустического стенда АК-11 [5]. Акустический стенд (рис. 1) состоит из 3-х смежных звукомерных

#### В. Объект исследования

В экспериментальных исследованиях использовалась типовая самолетная панель (рис. 2), подкрепленная стандартным силовым набором — шпангоутами и стрингерами. Излучающая поверхность панели соответствовала проему между реверберационными камерами ( $1,5 \times 1,5 \text{ м}$ ).

#### С. Вибропоглощающий материал

При определении эффективности средств вибропоглощения использовался материал с армирующим сло-

\*E-mail: zverev@dubna.ru

†E-mail: v.v.chernyh@gmail.com



а



б

Рис. 2: Вид типовой самолетной панели со стороны РК1 (а) и РК2 (б)

ем. Материал состоит из вибропоглощающего слоя термопластичного полиуретана толщиной 1,5 мм и армирующего слоя из алюминиевого сплава толщиной 0,5 мм. Поверхностная плотность вибропоглощающего материала составляет  $2,8 \text{ кг/м}^2$ . Коэффициент механической потерь вибропоглощающего материала, наклеенного на подложку из алюминиевого сплава размером  $80 \times 10 \times 1 \text{ мм}$ , определенный по методу динамического механического анализа в условиях трехточечного изгиба при  $t=20^\circ\text{C}$  и частоте 100 Гц, составляет 0,19. Модуль Юнга —  $0,85 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$ . Для проведения исследований были использованы опытные образцы вибропоглощающего материала в виде полосок шириной 20 мм (массой  $\sim 25 \text{ г}$  каждая) и шириной 40 мм (массой  $\sim 50 \text{ г}$  каждая). Длина полосок составляет примерно 470 мм.

#### Д. Методика проведения испытаний

При измерениях применялась стандартная методика по определению звукоизоляции ограждающих конструкций методом реверберационных камер. В реверберационной камере РК1 всенаправленным источником звука создавалось диффузное звуковое поле в широкой полосе частот 50 Гц–6,4 кГц. Уровни звукового давления регистрировались 5-ю микрофонами в РК1 и 5-ю микрофонами в камере РК2 в 1/3-октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 100 Гц–6,4 кГц.

Перед началом испытательных работ с полосками вибропоглощающего материала была определена звукоизоляция «голой» панели (рис. 2б). Потом была проведена целая серия работ по оценке эффективного размещения вибропоглощающих полосок на структурных элементах панели: шпациях, стрингерах, шпангоутах. Полоски наклеивались на шпации (вдоль стрингеров, по центру шпаций), наклеивались на поверхности стрингеров, на поверхности шпангоутов (как на верх-

нюю полку шпангоута, так и сбоку), а также изучались варианты комбинации таких расположений полосок. В этой же серии работ выполнены варианты крепления полосок к шпации на отnose, при этом вибропоглощающая полоска клеилась на пенопластовый брусок и такая конструкция клеилась на шпацию. Для полосок шириной 20 мм поперечное сечение бруска составило  $20 \times 10 \text{ мм}$ , а для полосок шириной 40 мм —  $40 \times 25 \text{ мм}$  и  $40 \times 50 \text{ мм}$ . Удельный вес пенопласта  $\sim 23 \text{ кг/м}^3$ .

Эффект применения вибропоглощающих полосок оценивался как разность звукоизолирующей панели с полосками и «голой» панели.

В испытаниях по оценке способов крепления панели интерьера к фюзеляжной конструкции использовалась та же типовая самолетная панель, но поверхность панели (кроме области панели интерьера) была закрыта звукопоглощающим материалом и резиной толщиной 15 мм (рис. 3). Масса панели интерьера 1,9 кг, площадь панели  $1,0 \times 0,755 \text{ м}^2$  (поверхностная масса  $\approx 2,5 \text{ кг/м}^2$ ). Были испробованы разные способы крепления панели интерьера к фюзеляжной конструкции, а именно, устанавливалась жесткая связь со шпангоутом, жесткая связь со стрингером, панель интерьера поддерживалась окаймляющей ее резиной и т.п. В каждом таком варианте оценивалась звукоизоляция конструкции.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В табл. 1 представлено описание некоторых вариантов испытаний фюзеляжной панели с применением вибропоглощающего материала (ВПМ). Всего было проведено более полусотни испытаний.

На рис. 4 показаны отдельные конструкции ВПМ, описанные в вышеприведенной таблице.

На рис. 5 приведены эффекты увеличения звукоизоляции бортовой фюзеляжной конструкции при ис-

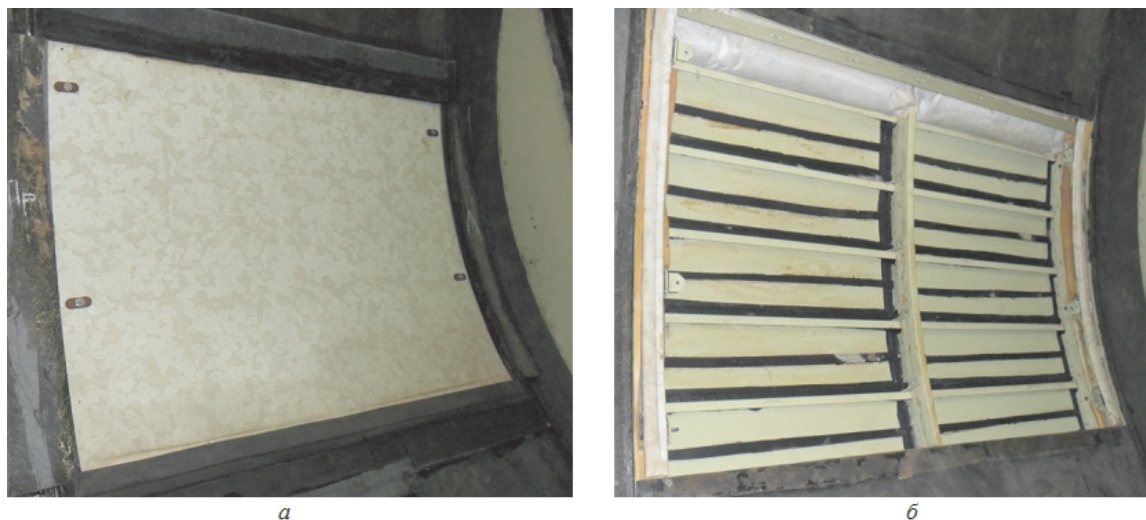


Рис. 3: Вид типовой самолётной панели с панелью интерьера и без неё со стороны РК2

Таблица I: Варианты испытаний

| Вариант | Описание   |
|---------|--|
| № 1     | Широкие полоски (40 мм) ВПМ размещены по центру шпаций с помощью скотча.   |
| № 2     | Широкие полоски ВПМ размещены по центру шпаций с помощью клея. Испытания проводились при «сыром» клее.   |
| № 3     | Широкие полоски ВПМ размещены по центру шпаций с помощью клея. Испытания проводились, когда клей высох (через сутки).  |
| № 4     | Снята широкая полоска. К центру узкой полоски ВПМ (20 мм) приклеен брусок из пенопласта размером 10×10×20 мм. Такие конструкции приклеивались к центрам шпаций через брусок (рис. 4а). |
| № 5     | Аналогичен варианту № 4 с добавлением пенопластовых брусочков по краям узкой полоски ВПМ. Крайние брусочки также приклеивались к шпации (рис. 4б).                                     |
| № 6     | Снята предыдущая конструкция ВПМ. К широким полоскам ВПМ на скотч наклеены бруски из пенопласта 40×25×470 мм. Эти конструкции прикреплены на скотче к центрам шпаций.                  |
| № 7     | Снята предыдущая конструкция ВПМ. К широким полоскам ВПМ на скотч наклеены бруски из пенопласта 40×50×470 мм. Эти конструкции прикреплены на скотче к центрам шпаций (рис. 4в).        |
| № 8     | Снята предыдущая конструкция ВПМ. Широкие полоски ВПМ размещены по центру шпаций с помощью клея. Поверх полосок ВПМ на скотч крепилась конструкция ВПМ (рис. 4г).                      |
| № 9     | Снята предыдущая конструкция ВПМ. По центрам шпаций наклеены широкие полоски ВПМ друг на друга.  |

пользовании вибропоглощающего материала. Из рисунка видно, что звукоизоляцию испытываемой панели можно увеличить в наиболее проблематичном диапазоне частот 160 Гц–800 Гц на 2–4 дБ (варианты № 3, 6–9). Этот рисунок иллюстрирует, в частности, влияние «клеевой основы» (варианты № 1–3) на изменение звукоизоляции фюзеляжной конструкции. Для оценки эффектов изменения звукоизоляции фюзеляжной конструкции при использовании вибропоглощающего материала можно не ждать высыхания клея (варианты № 2, 3). Этот факт может увеличить скорость проведения измерений. В этом случае ошибка не превосходит 0,5 дБ во всем исследуемом диапазоне частот. Несколько большая ошибка наблюдается при крепле-

нии ВПМ на скотч (вариант № 1) в области низких и высоких частот, но характер поведения зависимости остается тем же самым.

По результатам этой серии испытаний по критерию «минимальная дополнительная масса — максимальная звукоизоляция конструкции» можно определить оптимальный вариант размещения вибродемпфирующих материалов на фюзеляжной конструкции — № 7 (размещение полоски ВПМ на пенопластовом бруске с поперечным сечением 40×50 мм). Эффект увеличения звукоизоляции конструкции в сравнении с вариантом № 3 (размещение полоски ВПМ на шпации) в области низких частот можно объяснить [3] эффектом увеличения жесткости на изгиб конструкции «шпация —

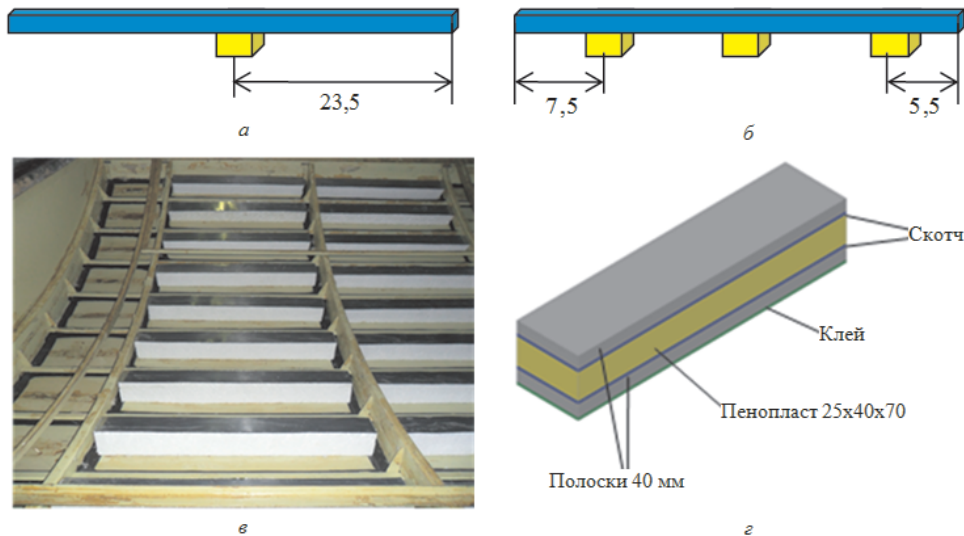


Рис. 4: Схемы конструкций ВПМ

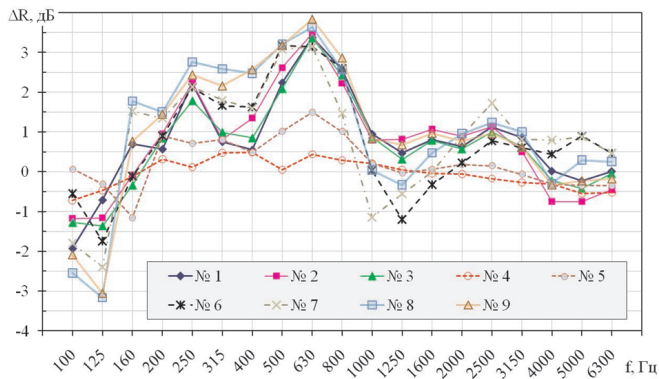


Рис. 5: Эффекты увеличения звукоизоляции бортовой конструкции при использовании вибропоглощающих полосок

конструкция ВПМ». Сравнивая вариант № 7 с вариантом № 6 (размещение полоски ВПМ на пенопластовом бруске с поперечным сечением  $40 \times 25$  мм — высота размещения ВПМ 25 мм), можно видеть, что в области низких частот 160 Гц и 200 Гц размещение ВПМ на высоте 50 мм является более предпочтительным. Похожие выводы об оптимальном размещении ВПМ по высоте (на отnose) были сделаны в работе [3], но с использованием других конструкций и материалов.

На рис. 6 показан эффект увеличения звукоизоляции фюзеляжной бортовой конструкции при разных способах крепления панели интерьера. На рисунке представлена разница звукоизоляций бортовой конструкции для таких способов крепления.

Эти варианты экспериментальных исследований соответствуют случаям, когда панель интерьера жестко связана в одной точке со шпангоутом (центр панели интерьера), либо панель поддерживается окаймляющей ее резиной. Этот рисунок демонстрирует то, что

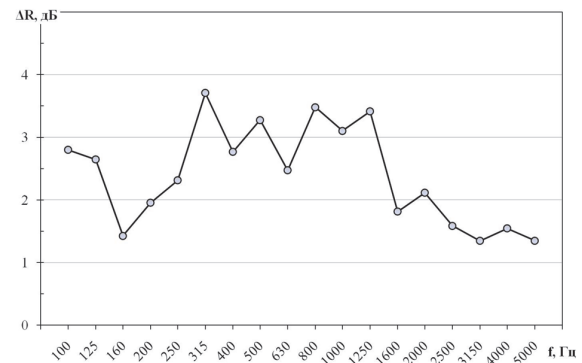


Рис. 6: Разность звукоизоляций бортовой конструкции при фиксации панели интерьера окаймляющей её резиной и креплении панели интерьера к шпангоуту в одной точке (центр панели интерьера)

при определенном способе крепления панели интерьера к фюзеляжной конструкции можно добиться заметного увеличения звукоизоляции конструкции в широком диапазоне частот 100 Гц–2000 Гц. Уменьшение звукоизоляции в полосе 160 Гц объясняется тем, что в этой полосе лежит первая мода фюзеляжной панели. Если обратиться к рис. 5, можно видеть, что эта мода хорошо демпфируется в вариантах № 1, 7–9.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты экспериментальных исследований демонстрируют возможность увеличения звукоизоляции бортовой самолетной конструкции в широком диапазоне частот. Вместе с этим, проведенная работа определяет дальнейшее направление экспериментальных исследований — нахождение способов

увеличения звукоизоляции бортовой фюзеляжной конструкции при совместном варьировании способов крепления к ней панели интерьера и вибропоглощающих материалов.

Авторы выражают благодарность инженеру Л.П. Семенову и радиомонтажнику С.Р. Шарову в подготовке и проведении экспериментальных работ.

- 
- [1] Никифоров А.С. Акуст. журн. **9**, №2. С. 243. (1963).  
[2] Наумкина Н.И., Тартаковский Б.Д., Эфрусси М.М. Акуст. журн. **5**, №2. С. 196. (1959).  
[3] Наумкина Н.И., Тартаковский Б.Д., Эфрусси М.М. Акуст. журн. **5**, №4. С. 498. (1959).  
[4] Булатов Г.А., Михалина М.Г., Наумкина Н.И., Тартаковский Б.Д. Акуст. журн. **15**, №2. С. 294. (1969).  
[5] Ефимцов Б.М., Зверев А.Я., Черных В.В. Ученые записки ЦАГИ. **39**, №4. С. 82. (2008).

## Investigations of new vibrodamping materials influence and ways of fastening of interior panel on fuselage construction transmission loss

A.Ya. Zverev<sup>a</sup>, V.V. Chernyh<sup>b</sup>

Central Aerohydrodynamic Institute named after prof. N.E Zhukovsky (TsAGI), 17, Radio str., Moscow 105005, Russia  
E-mail: <sup>a</sup>zverev@dubna.ru, <sup>b</sup>v.v.chernyh@gmail.com

A number of endeavor studies on increase of the sound transmission loss of the fuselage panel is carried out. Optimum variants of the vibrodamping materials fastenings on a fuselage construction from the point of view of noise reduction into the aircraft are defined. The results showing essential increase of the sound transmission loss of the fuselage panel at a certain way of fastening of the interior panel in the wide range of frequencies are received. Techniques of carrying out such researches in reverberation rooms are fulfilled.

PACS: 43.40.-r

Keywords: interior noise, sound transmission loss, vibrodamping.

Received 14.11.2014.

### Сведения об авторах

1. Зверев Александр Яковлевич — докт. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник; тел.: (496) 217-17-94, e-mail: zverev@dubna.ru.
2. Черных Валерий Васильевич — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник; тел.: (496) 217-17-94, e-mail: v.v.chernyh@gmail.com.