

Возможности гашения шума с помощью конструкций с сотовыми заполнителями

Предложены и реализованы модели анализа влияния параметров сотовых заполнителей на весовую эффективность и шумопоглощение многослойных панелей. При анализе весового баланса рассматриваемых конструкций установлено, что сотовые заполнители, в особенности клеевые швы, составляют почти 35% их массы, что и обуславливает применение сот с большим радиусом ячейки и с менее тонкими клеевыми слоями.

В связи с тем, что эти же компоненты являются основными объектами многослойных панелей, рассмотрено и количественно оценено их влияние на величину коэффициента звукопоглощения при использовании в заполнителях различных материалов, различных высот заполнителей и дополнительных слоев. На такой основе предложены компромиссные решения, удовлетворяющие требованиям весового баланса и шумопоглощения с помощью многослойных панелей.

Ключевые слова: многослойные конструкции, весовой баланс, шумогашение.

Введение

Трехслойные и многослойные конструкции с сотовым заполнителем (СЗ) широко применяются при создании летательных аппаратов всех классов [1]. Это объясняется тем обстоятельством, что на их основе создают как отдельные конструктивы, так и некоторые агрегаты в целом. На основе конструкций с СЗ представляется возможным реализовать их преимущества, такие, как уменьшение массы, увеличение жесткости замкнутых контуров, более гладкая аэродинамическая поверхность. С помощью таких конструкций удастся снизить уровень шума в пассажирском салоне и в кабине пилота, а также в отдельных специфических отсеках летательных аппаратов [6].

Из всех приведенных положительных качеств наиболее важным для конструкции летательного аппарата, безусловно, является уменьшение их массы при существенном увеличении жесткости.

В последнее время появились исследования, позволяющие установить области эффективной применимости силовых конструкций с СЗ. Так, для панели, воспринимающей сжатие, определяющим фактором является интенсивность нормальных сил N/a , а для стенок, работающих на сдвиг, – интенсивность перерезывающей нагрузки Q/h^2 . Это позволяет заложить весовое преимущество конструкции с СЗ уже на этапе ее проектирования.

Значительное количество исследований [4, 5] посвящено и особенностям производства конструкций с СЗ, обеспечивающих названные выше их преимущества.

В некоторых исследованиях отмечается успешное применение трехслойных и многослойных конструкций при гашении шума, возникающего в салоне пассажирского самолета, вызванного работой силовой установки и пульсациями давления при обтекании летательного аппарата (рис. 1) [8]. При этом отмечается, что параметры СЗ и клеевых слоев существенно влияют не только на величину поглощаемого шума, но и на его частотные характеристики.

В связи с этим возникает необходимость обосновать компромисс при выборе параметров сот и клеев в трехслойных конструкциях, удовлетворяющих требованиям весового баланса и шумопоглощения рассматриваемых конструкций.

Такие исследования продолжают оставаться актуальными.

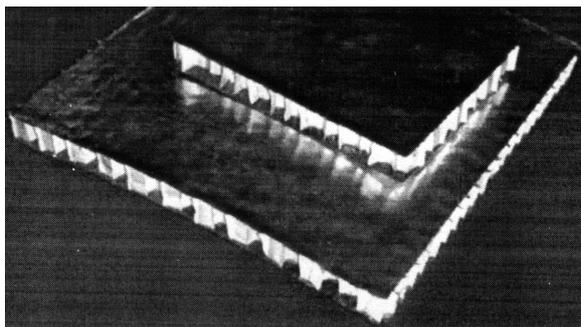


Рис.1. Шумопоглощающие панели для руля направления некоторых летательных аппаратов [2]

Цель работы

Целью работы является исследование влияния физико-механических параметров СЗ на понижение уровня шума внутри летательного аппарата и выработать рекомендации по увеличению коэффициента шумопоглощения с помощью многослойных конструкций.

Роль демпфирующих элементов в весовом балансе трехслойных конструкций.

К основным демпфирующим элементам в трехслойных конструкциях (рис. 2) следует отнести прежде всего соты (3) и клей (4).

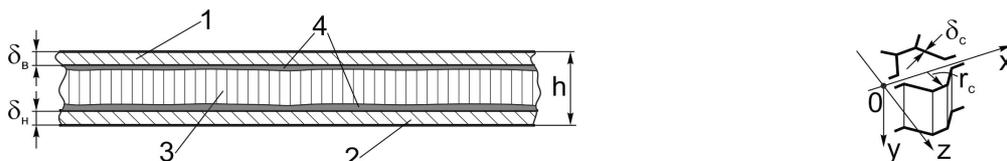


Рис. 2. Основные компоненты весового баланса трехслойной конструкции: 1, 2 – несущие слои, 3 – сотовый наполнитель, 4 – слой клея

Влияние демпфирующих элементов (заполнителя и клея) на весовое совершенство рассматриваемой конструкции удобнее вести на основе сравнительной оценки приведенных толщин, элементов, образующих конструкцию, по отношению к удельной плотности несущих слоев.

Предположим, что осуществляется замена базовой обшивки из дюралевого сплава с удельной плотностью $\gamma = 2,8 \text{ г/см}^3$ и полной ее толщиной $\delta = 1 \text{ мм}$ на трехслойную конструкцию с СЗ (рис. 2).

В таком случае

$$\delta_n + \delta_b + \delta_{\text{экв.сз}} + \delta_{\text{экв.кл}} = \delta_{\text{тк}}, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{экв.сз}}$, $\delta_{\text{экв.кл}}$ и $\delta_{\text{тк}}$ – приведенные толщины сотового наполнителя, клея и трехслойной панели, модифицированной взамен монообшивки с $\delta = 1 \text{ мм}$.

При таком условии

$$\delta_{\text{экв.сз}} = \frac{h \cdot \gamma_{\text{сз}}}{\gamma_{\text{нс}}}, \quad (2)$$

где h – высота сотового наполнителя; $\gamma_{\text{сз}}$ – удельная плотность СЗ; $\gamma_{\text{нс}}$ – удельная плотность материала несущих слоев;

$$\delta_{\text{экв.кл}} = \frac{m_{\text{кл}}}{\gamma_{\text{нс}} \cdot 10000}, \quad (3)$$

где $m_{\text{кл}}$ – масса клея. По статистическим данным его можно принять $\sim 500 \text{ г/м}^2$.

Если в несущих слоях применен дюралевый сплав, а наполнитель выполнен из дюралевой фольги, то весовой баланс (1) в численном выражении может быть представлен в следующем виде:

$$0,3 \text{ мм} + 0,1 \text{ мм} + 0,12 \text{ мм} + 0,35 \text{ мм} = 0,87 \text{ мм}, \quad (4)$$

здесь 0,3 и 0,1 мм – минимально допустимые толщины несущих слоев по конструктивно-технологическим соображениям; 0,12 мм – приведенная толщина наполнителя из алюминиевой фольги; 0,35 мм – приведенная толщина клея.

Из представленного анализа весового баланса трехслойной конструкции с сотовым наполнителем вытекают два важных обстоятельства:

- при замене тонких обшивок ($\delta < 2 \text{ мм}$) на трехслойные конструкции можно снизить ее массу до 12...15 %;
- в весовом балансе трехслойной конструкции до 35 % занимает клей, который не является несущим элементом, но оказывает положительное влияние на шумоглушение акустических воздействий;
- масса наполнителя сравнительно невелика. Она составляет в оптимизированных трехслойных конструкциях от 7 до 12 %, но ее влияние на деформирование шумовых воздействий значительно.

Свойства демпфирующих элементов в моделях шумоглушения трехслойных конструкций

Как уже отмечалось, основными демпфирующими элементами в трехслойных конструкциях являются сотовый наполнитель и слои клея. Для оценки их влияния на процесс шумогашения следует привести их физико-механические характеристики, влияющие на этот процесс.

На рис. 3 показана конструкция сотовых наполнителей, изготовленных из материалов с малой удельной плотностью γ , и расчетная модель восприятия акустических нагрузок элементами трехслойной панели.

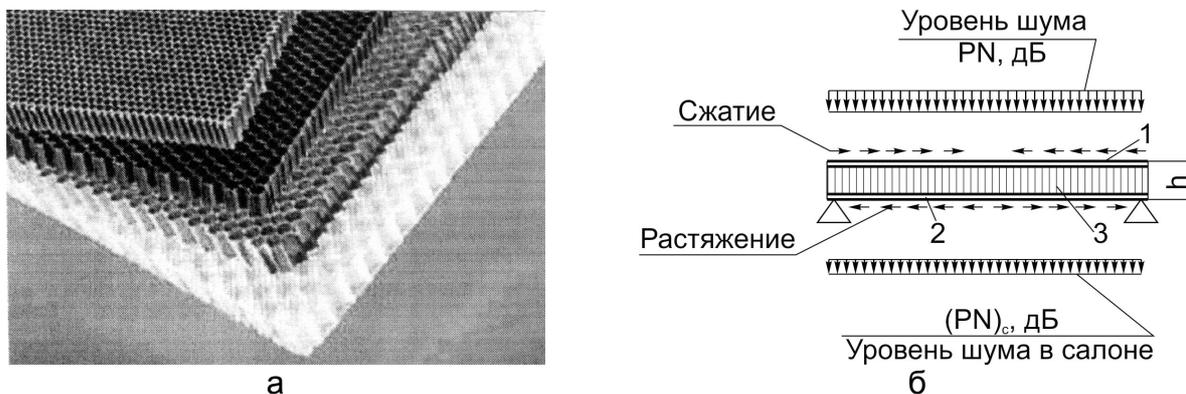


Рис. 3. Конструктивное исполнение СЗ из различных материалов и схема их нагружения в моделях гашения акустических нагрузок

Следует отметить, что в такой конструкции и несущие слои, и сотовый наполнитель изготавливают из разных материалов. Так, в несущих слоях применяют дюралевые сплавы, стекловолокнистые и углеродистые нити, объединенные связующей смолой.

Заполнители также имеют различную материальную основу: это алюминиевая фольга, стекло и углеволокнистая ленты, специальная бумага.

Таблица 1

Некоторые физико-механические характеристики сотовых заполнителей
в трехслойных панелях

Марка сотового заполнителя, тип фольги – размер ячейки, мм – толщина фольги, мк	Удельная масса, кг/м ³	Модуль упругости при сдвиге, не менее, ГПа	
		Параллельно клеевым полосам	Перпендикулярно клеевым полосам
Углеродистая лента			
УСП-5-117 ЭЛУР + ЭНФБ	11,7·10 ⁻⁵	0,6504	0,3662
УСП-5-40 IMS-65 + ЭНФБ	4,0·10 ⁻⁵	0,2704	0,1736
Стеклоткань			
ССП-2-2,5	99...109	0,1267	0,0908
ССП-1-3,5	76...88	0,1146	0,0693
Полимерная бумага			
ПСП-1-2,5-45	37...43	0,0510	0,0305
Алюминиевая фольга АМг, 5052			
АМг-2,5-20	32...37	0,1540	0,0870
АМг-3,5-20	29...31	0,1210	0,0790

Как видно, у существующих заполнителей модуль на сдвиг мал, что и является основным исходным положением для реализации таких конструкций при глушении шума.

Эффективность трехслойных конструкций с СЗ в процессах гашения шума

Количественная оценка шумности оценивается степенью раздражающего акустического воздействия на человека. В соответствии с АП-36 шумность n_i принято оценивать с помощью критерия «суммарная воспринимаемая шумность N », которую определяют по выражению

$$N = 0,85n_{\max} + 0,15 \sum_{i=1}^{24} n_i, \quad (5)$$

где i – номер третьоктавной полосы частот;

n_{\max} – максимально воспринимаемая шумность в спектре акустического излучения.

В АП-36 также введено понятие «уровень воспринимаемого шума (PNL)». Величина PNL измеряется в единицах PNdB и в диапазоне частот 45...11300 Гц оценивается выражением

$$PNL(k) = 40,0 + 33,22 \lg N_k. \quad (6)$$

При этом пороговые значения звукового давления p_0 и суммарной шумности приобретают значение

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}, \quad (7)$$

$$JN_0 = \frac{N_0^2}{\rho_0 c_0}, \quad (8)$$

где ρ_0 – плотность воздуха.

Для определения N_0 воспользуемся выражением (2) и соотношением

$$PNL = 2 \cdot \lg \frac{N_k}{N_0}. \quad (9)$$

При $N = 1$ величина PNL равна 40. Подставив эту величину в (9) получим $N_0 = 10^{-2}$ ной, а для стандартной атмосферы

$$J \cdot N_0 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ ной}/(\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}). \quad (10)$$

Основным источником шума, связанного с самолетом, являются его двигатели (рис. 4). С увеличением тяги двигателей их шумность существенно возрастает и становится небезопасной не только возле самолетов, но и в пассажирском салоне и в пилотской кабине.

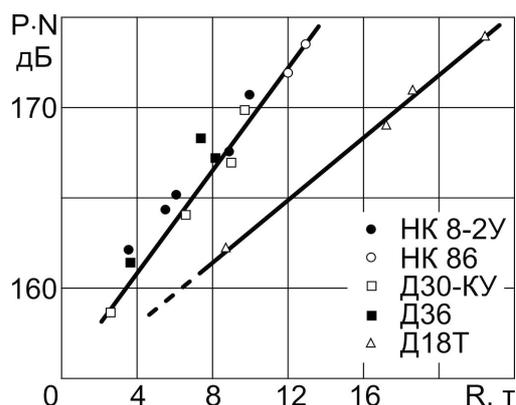


Рис. 4. Влияние тяги двигателей R на величину суммарной воспринимаемой шумности N

Введение европейских норм на уровни шумов, создаваемых самолетом, требует разработки ряда решений как внутри источника, так и по способам защиты во внешней среде. Одним из таких решений может служить применение трехслойных конструкций с сотовым и другими видами заполнителей.

В решении задачи поглощения шума трехслойными конструкциями с сотовым заполнителем (ТКСЗ) выражения (7) – (10) являются исходными при количественной оценке величинами PNL (рис. 4).

При рассмотрении ТКСЗ как звукопоглощающих конструкций принято пользоваться [8] частотной характеристикой в виде коэффициента звукопоглощения α (рис. 5).

$$\alpha = \frac{PN}{(PN)_c}, \frac{\text{дБ}}{\text{дБ}}. \quad (11)$$

Для оценки величины α испытывались трехслойные панели:

- с различным материалом сот (сотовый стеклотканевый полимер – ССП и алюминиевая фольга – АМг) (табл.1);
- с различной высотой сотового заполнителя $h = 5, 10, 15, 20$ и 30 мм (рис. 6);
- с наличием дополнительного демпфирующего слоя в виде клея или трикотажной прокладки (рис. 3).

На рис. 5 показаны зависимости α_0 от частоты для различных заполнителей как по исходному материалу, так и по размеру сот.

Как видно, материал сот (ССП или АМг) мало влияет на величину коэффициента шумопоглощения α_0 .

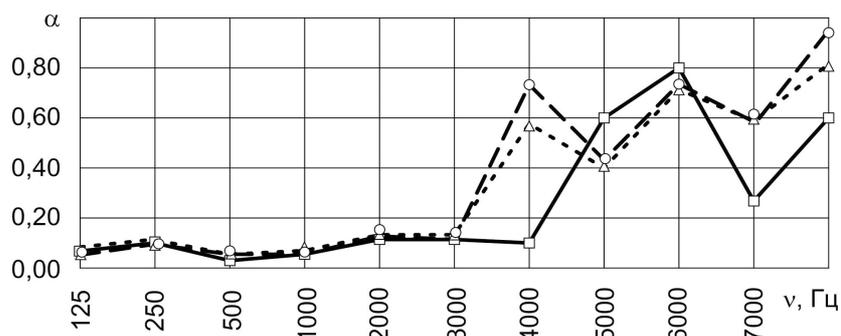


Рис. 5. Влияние материала и размера сот на величину коэффициента звукопоглощения:

□ – ССП-2,5; △ – ССП-3,5; ○ – АМГ-2,5

На рис. 6 показаны экспериментальные зависимости, показывающие влияние высоты сот на изменение зависимости коэффициента шумопоглощения α_0 от частоты излучения.

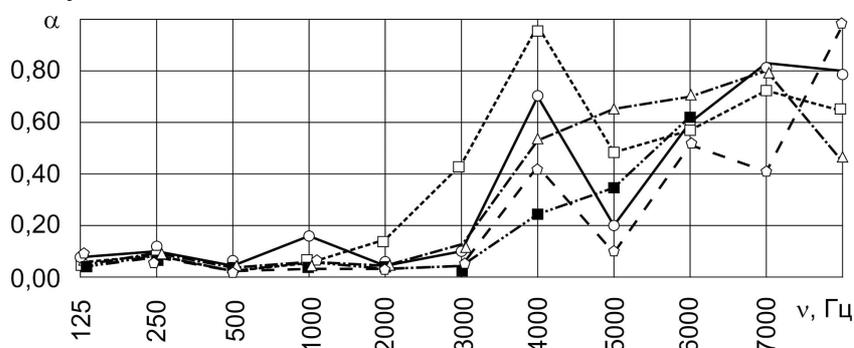


Рис. 6. Зависимость коэффициента шумопоглощения α_0 от частоты излучения при различных величинах высоты заполнителя в трехслойной панели:

□ – $h = 5$ мм; △ – $h = 10$ мм; ■ – $h = 15$ мм; ◇ – $h = 20$ мм; ○ – $h = 30$ мм

Из анализа данных (рис. 6) вытекает:

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

Влияние клеевого слоя (или трикотажного полотна) на гашение шума трехслойной конструкцией показано на рис. 7. Здесь также показана зависимость α от частоты излучения.

При этом во всех вариантах испытывались образцы с высотой заполнителя, равной 20 мм. Из приведенных данных 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. 6);
- на частотах менее 2000 Гц образцы с прослойкой трикотажа имеют более высокое значение α , вплоть до смещения максимума на частоту 500 Гц.

Следует отметить, что образец с трикотажем (со вторым слоем) клея имеет большее α при частоте 1000 Гц, чем образец с ССП-3,5.

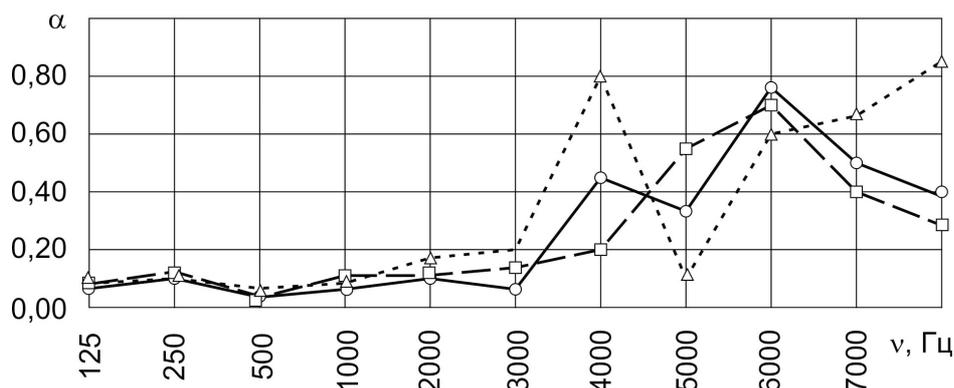


Рис. 7. Зависимость коэффициента шумоглушения α от частоты излучения:

○ – ССП-3,5 + трикотаж; △ – ССП-3,5; □ – ССП + клей

Выводы

Сопоставляя исследования, приведенные в данной статье по эффективности трехслойных конструкций по массе и шумоглушению, следует отметить:

- по критерию весового баланса следует снижать массу клея при повышении его качества;

- по критерию шумоглушения, т.е. в целях увеличения коэффициента α , следует несколько увеличивать толщину слоя клея (или добывать трикотажную прокладку).

Кроме того, сравнительная оценка звукопоглощения образцов разных конструкций показала:

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

- образцы с наполнителем с крупной ячейкой имеют более высокое значение величины α на частотах менее 2000 Гц;

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

Список литературы

1. Каблов, Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года [Текст] / Е. Н. Каблов // Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-техн.сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). – М.: ВИАМ, 2012. – С. 7-17.

2. Альбом по сотовым наполнителям и сотовым конструкциям // Разработки предприятия «НИКЭ». – Днепропетровск, 2012. – 102 с.

3. Гайдачук, В. Е. Концептуальные подходы к оптимизации по массе многоотсековых сотовых конструкций летательных аппаратов [Текст] / В. Е. Гайдачук, В. В. Кириченко, В. И. Сливинский // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 43(4). – Х., 2005. – С. 7-26.

4. К вопросу о создании высокоэффективных технологий изготовления панелей интерьера в крупносерийном производстве [Текст] / С. В. Стрельников,

О. Б. Застрогина, Е. А. Вешкин, Н. И. Швец // *Авиационные материалы и технологии*. – 2011. – №4. – С.18-24.

5. *Авиационные правила АП-36*.

6. *Авиационная акустика*. – Ч.1 [Текст] / – М.: Машиностроение, 1986. – 244 с.

7. Кузнецов, В. М. Проблемы снижения шума пассажирских самолетов [Текст] / В. М. Кузнецов. // *Акуст. Журн.* – 2003. –Т.49, №3. – С. 293-317.

8. Постнев, В. И. Исследование к оптимизации выбора звукопоглощающих конструкций [Текст] / В. И. Постнев, В. Н. Вякин, Е. А. Веткин // *Авиационная и ракетно-космическая техника*. / – Самарский гос. аэрокосм. ун-т, – 2011. – №3 (27). – С. 55-64.

Рецензент: д-р ф.-м. наук, проф. Ю. А. Крашаница, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков

Поступила в редакцию 14.02.14

Можливості гасіння шуму за допомогою конструкцій із стільниковими заповнювачами

Запропоновано та реалізовано моделі аналізу впливу параметрів стільникових заповнювачів на вагову ефективність і шумопоглинання багатошарових панелей. Під час аналізу вагового балансу конструкцій встановлено, що стільникові заповнювачі, особливо клейові шви, становлять майже 35 % їхньої маси, що й обумовлює застосування стільників з великим радіусом чарунки і з менш тонкими клейовими шарами. У зв'язку з тим, що ці ж компоненти є основними об'єктами багатошарових панелей, розглянуто і кількісно оцінено їхній вплив на величину коефіцієнта звукопоглинання під час використання в заповнювачах різних матеріалів, різних висот наповнювачів і додаткових шарів. На такій основі запропоновані компромісні рішення, що задовольняють вимогам вагового балансу і шумопоглинання за допомогою багатошарових панелей.

Ключові слова: багатошарові конструкції, ваговий баланс, шумогасіння.

Noise Suppression Capabilities by Using Honeycomb Structures

Proposed and implemented are the models of analysis of the influence of honeycomb parameters on the weight efficiency and soundproofing of sandwich panels. When analyzing the weight balance of the considered structures it is found that the honeycomb cores and in particular glued joints make up almost 35 % of their mass, which explains the use of cores with a large radius of the core and with thinner adhesive layers. Due to the fact that the same components are the main objects of multilayer panels, their effect on the coefficient of sound absorption when using in honeycomb core different materials, different heights and optional layers are examined and quantitatively evaluated. On these basis compromise solutions satisfying the requirements of mass balance and noise suppression is using a multi-layer panels are proposed.

Keywords: multi-layer structures, weight balance, soundproofing.