

УДК 678.067.5

*Е.М. Шульдешов¹, И.Д. Краев¹, А.П. Петрова¹***ПОЛИМЕРНЫЙ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЙ
МАТЕРИАЛ-КОНСТРУКЦИЯ
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА НА МЕСТНОСТИ
АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-2-6-6

Рассмотрены вопросы снижения шума гражданских воздушных судов, являющиеся актуальными в свете ужесточения требований по шуму на местности. Предложен способ улучшения массовых и акустических характеристик звукопоглощающей конструкции (ЗПК) путем применения взамен стеклосотопласта звукопоглощающего материала-конструкции с пористой вставкой заданной толщины, расположенной на определенной высоте. Кратко описана технология получения подобных материалов, а также даны характеристики полученного материала.

Ключевые слова: звукопоглощающий материал-конструкция, коэффициент звукопоглощения, гидрофобность, пористый материал.

*Е.М. Shuldeshov¹, I.D. Kraev¹, A.P. Petrova¹***POLYMERIC SOUND-ABSORBING MATERIAL DESIGN
FOR ENVIRONMENTAL NOISE ABATEMENT
OF AIRCRAFT ENGINES**

In this article questions of noise abatement of civil air vehicles, being actual in the light of toughening of requirements for environmental noise, are considered. The way of improvement of mass and acoustic characteristics of NDC through application of sound-absorbing material design (instead of glass-fiber-reinforced honeycomb) with a porous insert characterized by the preset thickness and located at a certain height is offered. The manufacturing technology of similar materials as well as characteristics of the produced material are shortly described.

Keywords: sound-absorbing material design, factor of sound absorption, water repellency, porous material.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

В настоящее время многие эксперты ставят требования к малошумности воздушных судов (ВС) гражданского назначения на второе место после обеспечения безопасности полетов [1]. Данное обстоятельство связано с тем, что шум ВС на местности регламентируется Международной организацией гражданской авиации (ИКАО). Требования ИКАО носят рекомендательный характер, однако большинство развитых стран закрепляют их в своих законах и технических регламентах, назначая экологические штрафы либо запрещая эксплуатацию не соответствующих этим требованиям ВС в своих аэропортах. Одним из эффективных способов снижения шума ВС является

применение звукопоглощающих конструкций (ЗПК). Применяемые в настоящее время для снижения шума на местности ВС двухслойные резонансные ЗПК не позволяют достигнуть снижения уровня шума, необходимого для выполнения вступивших с 2017 г. требований ИКАО, что вынуждает применять трехслойные резонансные конструкции, которые имеют высокие трудоемкость изготовления и массу. В связи с чем идет активный поиск альтернативных вариантов решения данной задачи.

В последние годы наблюдается тенденция по повышению количества неметаллических материалов в ВС [2–4], что приводит к увеличению работ по разработке связующих [5] и клеев [6], конструкционных материалов на их основе [7], а также систем защиты от внешних воздействий [8, 9] и по оценке влияния этих воздействий на материалы [10]. При этом требования, которые предъявляются к материалам, становятся все более жесткими и комплексными, особенно в высокотехнологичных областях, таких как авиастроение и космонавтика. Так, материалы для ЗПК современных ВС гражданской авиации должны помимо основной функциональной характеристики – акустической эффективности – отвечать таким требованиями, как прочность, низкая удельная плотность, стойкость к эксплуатационным воздействиям. При разработке новых двигателей зачастую существует потребность в изменении акустических характеристик ЗПК в процессе доводки двигателя, в связи с чем большим преимуществом является вариативность акустических характеристик без значительного изменения прочностных и массово-габаритных параметров.

Работа выполнена в рамках реализации стратегического научного направления 15.3. «Материалы и покрытия для защиты от ЭМИ, ударных, вибрационных, акустических и электрических воздействий» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

Материалы и методы

Разработке ЗПК и материалов для них уделяется большое внимание во всем мире. Одними из наиболее эффективных способов повышения акустических характеристик является применение пористых материалов [11, 12] и мембран (акустических сеток) взамен внутренних перфорированных слоев ЗПК [13], однако это делает актуальным вопрос обеспечения прочности конструкции и ее стойкости к воздействию внешних факторов. В качестве пористых материалов, как правило, рассматривают материалы волокнистого типа, так как они наиболее акустически эффективны по сравнению с ячеистыми и гранулированными пористыми материалами [14], однако по эксплуатационным характеристикам данный тип материалов уступает ячеистым, что затрудняет внедрение подобных разработок в изделия.

Во ФГУП «ВИАМ» разработана структура и технология изготовления звукопоглощающего материала-конструкции, предназначенного для применения в ЗПК двигательной установки ВС [15], состоящего из промышленно производимых стеклянных сот и звукопоглощающего элемента на основе пенопласта с открытой пористой, пропитанного гидрофобизирующим составом на основе кремнийорганического каучука, расположенного внутри сот таким образом, чтобы достичь максимальных акустических характеристик при минимальной плотности.

Структура предложенного звукопоглощающего материала представлена на рис. 1 (изометрическая проекция) и 2 (вид сбоку).

Применение промышленных сот позволяет сохранить прочностные характеристики на уровне существующих и применяемых резонансных ЗПК, что облегчает интеграцию разработанного материала-конструкции в состав двигательной установки ВС, а также позволяет сохранить существующую технологию изготовления ЗПК и узлов на их основе.

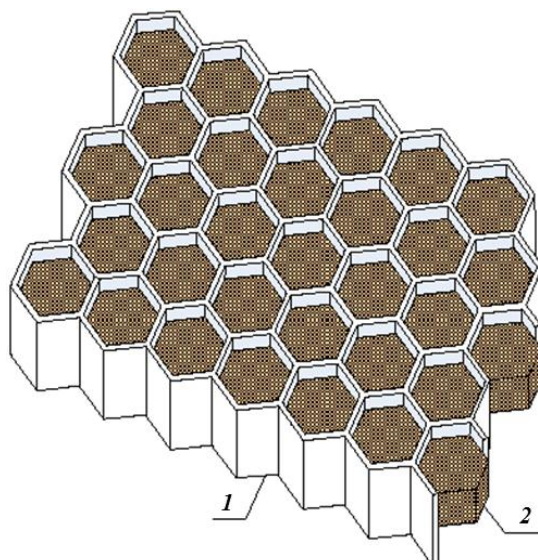


Рис. 1. Изометрическая проекция звукопоглощающего материала-конструкции:
1 – сотопласт; 2 – наполнитель из пенопласта с открытой пористостью

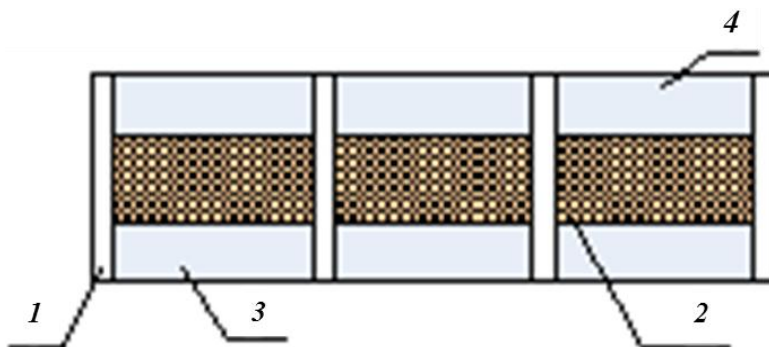


Рис. 2. Вид сбоку звукопоглощающего материала:
1 – слой ячеистой структуры (сотопласт); 2 – пенопласт с открытой пористостью; 3, 4 – воздушные полости

Поскольку плотность является одной из определяющих характеристик в авиастроении, для ее снижения толщина пенопласта выбирается наименьшей, при которой достигаются значения акустических характеристик в требуемом заказчиком диапазоне частот. Высота размещения пенопласта также оказывает влияние на акустические характеристики материала-конструкции путем изменения высоты как фронтальной, так и тыльной воздушной полости.

Технология изготовления материала-конструкции разрабатывалась с учетом возможностей серийного производства, в связи с чем основной задачей было снижение трудоемкости изготовления, а также возможность изготовления больших партий без использования дорогостоящего оборудования. Технология предусматривает изготовление панели заданных размеров благодаря размещению слоя определенной толщины пенопласта с открытой пористостью внутри слоя сотопласта путем вдавливания в гидравлическом прессе, в результате которого происходят разрезание пенопласта ребрами ячеек сотопласта на отдельные фрагменты и их размещение в каждой ячейке сотопласта за одну технологическую операцию. В данном случае необходимо отметить, что пенопласт с открытой пористостью должен соответствовать ряду требований, таких как

низкая плотность, высокие акустические характеристики в широком диапазоне частот, а также должен разрезаться ребрами ячеек при статичном нагружении по горизонтальной оси. Экспериментальные исследования показали, что под данное описание подходят пенопласты с плотностью менее $0,3 \text{ г/см}^3$ и прочностью на срез не более 2 МПа. Для обеспечения высоких акустических характеристик необходима структура с открытой пористостью с равномерным процентным распределением размеров пор, лежащих в интервале от 50 до 600 мкм [16].

Далее за одну технологическую операцию проводится гидрофобизация и приклеивание пенопласта к ячейкам сотопласта путем пропитки полученной заготовки составом на основе кремнийорганического каучука в пропиточной ванне, при этом состав должен обладать высокими гидрофобизирующими свойствами, а также высокой адгезией к материалу на основе фенолформальдегидного связующего, которое применяется при изготовлении стеклосотопласта. Для обеспечения высоких акустических характеристик гидрофобизацию пенопласта необходимо проводить не по поверхности материала (так как в случае образования сплошного слоя это приведет к ухудшению акустических характеристик), а в объеме таким образом, чтобы влияние на пористость материала было минимальным, либо после гидрофобизации размеры пор были в диапазоне, указанном ранее.

Результаты

Одним из наиболее важных преимуществ разработанной структуры и технологии является возможность настройки акустических характеристик за счет изменения таких параметров, как толщина и расположение пенопласта, состав гидрофобизатора. Необходимость изменения акустических характеристик ЗПК возникает при разработке двигателя в случае изменения его рабочих параметров по сравнению с расчетными. Как известно из литературных источников [17], акустические характеристики резонансных ЗПК определяются четырьмя основными геометрическими параметрами – диаметром отверстий перфорации фронтального слоя, толщиной фронтального слоя, процентом перфорации (отношение площади отверстий к общей площади слоя) и высотой используемого заполнителя (в данном случае сотопласта). Как правило, изменение толщины конструкции на поздних стадиях разработки двигателя невозможно, в связи с чем перенастройку системы шумоглушения проводят, изменяя параметры фронтального слоя, что приводит к изменению прочностных характеристик и, как следствие, к необходимости комплексного подхода к решению описанной задачи. В случае применения материала-конструкции такая проблема отсутствует, так как настройка акустических характеристик возможна путем изменения описанных ранее параметров без необходимости изменять итоговую высоту конструкции или параметры фронтального слоя, что позволяет сохранить прочностные свойства как материала, так и конструкции с его применением. Таким образом, доводка двигателя по шуму на завершающих этапах разработки становится чисто акустической задачей, не требующей комплексного подхода.

Разработанная материал-конструкция имеет общую высоту 30 мм, толщину пенопласта 5 мм, высоту воздушных полостей по 12,5 мм и обладает следующими свойствами:

- рабочая температура 150°C ;
- средняя поверхностная плотность 4093 г/м^2 ;
- влагопоглощение материала при $\phi=98\%$ в течение 3 сут составило в среднем $0,86\%$ (по массе);
- материал является трудногорящим, что удовлетворяет требованиям АП-25.

Коэффициент звукопоглощения материала-конструкции в диапазоне частот от 800 до 5000 Гц имеет следующие значения:

Частота, Гц	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Коэффициент звукопоглощения	0,71	0,94	0,99	0,90	0,80	0,82	0,89	0,98	0,85

Разработанный сотовый наполнитель опробован в АО «ОДК-Авиадвигатель» на установке «Канал с потоком», моделирующей режимы работы двигателя. По результатам исследований установлено: ожидаемое суммарное снижение массы узлов благодаря применению материала-конструкции – до ~20 кг, ожидаемая суммарная эффективность системы шумоглушения 20,5 дБ. По результатам испытаний разработанный вариант рассматривается для применения в зонах двигательных установок двигателя ПД-14 – для перспективного ближне-среднемагистрального самолета МС-21.

Обсуждение и заключения

Разработанный материал-конструкция отвечает комплексу требований, предъявляемых к материалам для ЗПК: обладает прочностью на уровне применяемых конструкций, имеет меньшую массу по сравнению с двух- и трехслойными резонансными ЗПК, обладает высокими акустическими характеристиками, а также возможностью их настройки без изменения прочностных свойств. Внедрение материала-конструкции не требует переоборудования производственных мощностей, изменения технологии изготовления ЗПК и узлов с применением таких конструкций по сравнению с существующими и, как следствие, переобучения персонала.

Таким образом, разработанный материал-конструкции и его модификации могут найти широкое применение в зонах двигательных установок с температурой до 150°C, таких как корпус воздухозаборника, створки реверсивного устройства, кожухи, обшивки газогенератора и др. На базе ФГУП «ВИАМ» проводится дальнейшее развитие направления создания звукопоглощающих материалов и материалов-конструкций, связанных с защитой данных материалов от воздействия эксплуатационных факторов, снижением массы, увеличением технологичности.

Применение разработанного материала-конструкции может способствовать повышению экологичности летательных аппаратов и, как следствие, повышению акустической комфортности в кабине экипажа и пассажирском салоне, что является одним из факторов, определяющих конкурентоспособность отечественной авиационной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копьев В.Ф., Мунин А.Г., Остриков Н.Н. Проблемы создания перспективных магистральных самолетов, способных удовлетворять нормам ИКАО по шуму на местности // Труды ЦАГИ. 2014. №2739. С. 3.
2. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. №5. С. 8–18.
3. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
4. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения // Защита и безопасность. 2014. №4. С. 28–29.
5. Петрова А.П., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Чурсова Л.В. Клеевые связующие для полимерных композиционных материалов на угле- и стеклонаполнителях // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №9. Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 11.12.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-9-11-11.

6. Лукина Н.Ф., Петрова А.П., Мухаметов Р.Р., Когтёнков А.С. Новые разработки в области клеящих материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 452–459. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-452-459.
7. Железина Г.Ф., Шульдешова П.М. Конструкционные органопластики на основе пленочных клеев // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. №2. С. 9–14.
8. Нефедов Н.И., Хасков М.А., Петрова А.П., Бузник В.М. Исследование термических свойств фторпарафинов и гидрофобных покрытий на их основе // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2017. №2 (50). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 11.12.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-2-11-11.
9. Кучеровский А.И., Шульдешова П.М., Железина Г.Ф., Гуляев И.Н. Разработка системы защиты сетчатой конструкции фюзеляжа от негативных воздействий внешних факторов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №9. С. 29–35.
10. Шульдешова П.М., Железина Г.Ф. Влияние атмосферных условий и запыленности среды на свойства конструкционных органопластиков // Авиационные материалы и технологии. 2014. №1. С. 64–68. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-1-64-68.
11. Соболев А.Ф., Ушаков В.Г., Филиппова Р.Д. Звукопоглощающие конструкции гомогенного типа для каналов авиационных двигателей // Акустический журнал. 2009. Т. 55. №6. С. 749–759.
12. Платонов М.М., Железина Г.Ф., Нестерова Т.А. Пористоволокнистые полимерные материалы для изготовления широкодиапазонных ЗПК и исследование их акустических свойств // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №6. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 11.12.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-6-9-9.
13. Шульдешова П.М., Железина Г.Ф., Соловьева Н.А., Шульдешов Е.М. Арамидные органопластики для звукопоглощающих конструкций // Вопросы материаловедения. 2016. №4. С. 42–49.
14. Шашкеев К.А., Шульдешов Е.М., Попков О.В., Краев И.Д., Юрков Г.Ю. Пористые звукопоглощающие материалы (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №6 (42). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 12.11.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-6-6-6.
15. Полимерный звукопоглощающий материал и способ изготовления: пат. 2612674 Рос. Федерация; опубл. 13.03.17.
16. Образцова Е.П., Краев И.Д., Шульдешов Е.М., Юрков Г.Ю. Гибридные функциональные материалы, сочетающие в себе звукопоглощающие и радиопоглощающие свойства // Материаловедение. 2016. №12. С. 19–24.
17. Ипатов М.С., Остроумов М.Н., Соболев А.Ф. Влияние спектра высокоинтенсивного источника звука на звукопоглощающие свойства облицовок резонансного типа // Акустический журнал. 2012. Т. 58. №4. С. 465–472.