

УДК 628.517.699.844

М.М. Платонов<sup>1</sup>, Е.М. Шульдешов<sup>1</sup>, Т.А. Нестерова<sup>1</sup>, В.А. Сагомонова<sup>1</sup>**АКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ  
(обзор)**

DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-9-9

*Статья посвящена вопросам применения и описанию характеристик новых полимерных материалов с акустическими свойствами, разработанных во Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов в последние годы. Рассматриваются звукопоглощающие пористоволокнистые полимерные материалы ВТИ-7 и ВТИ-12, а также сотовая акустическая конструкция ВЗМК-1 на их основе. Описаны свойства вибропоглощающих материалов марок типа ВТП-1В, предназначенных для уменьшения отрицательного воздействия вибрации и структурного шума на пассажиров, пилотов и микроэлектронику. Рассмотрены свойства теплозвукоизоляционного материала ВПП-1 на основе полиимида, являющегося в настоящее время материалом, по свойствам превосходящим ранее широко используемый материал АТМ-1.*

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного 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].*

**Ключевые слова:** звукопоглощающие материалы, пористоволокнистые материалы, коэффициент звукопоглощения, вибропоглощающие материалы, термоэластопласты, теплозвукоизоляция, пенополиимид.

*Article is devoted to the questions of the application and description of characteristics of new polymeric materials with acoustic properties developed at «The All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» in recent years. The sound-proof porous-fibrous polymeric materials VTI-7 and VTI-12 as well as cellular acoustic structure VZMK-1 on their basis are considered. Properties of sound-proof materials of VTP-1V-type intended for reduction of negative vibration impact and structural noise on passengers, pilots and microelectronics are described. Properties of the heat-sound-proof material VPP-1 on the basis of the polyimide being today material, exceeding at properties the earlier widely used material ATM-1 are considered.*

*Work is executed within implementation of the complex scientific direction 15.3. «Materials and coatings for protection against EME, impact, vibrating, acoustic and electric influences» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030») [1].*

**Keywords:** sound-proof materials, fibrous materials, sound absorption coefficient, vibration damping materials, thermoelastoplastics, heat-sound insulation, foamed polyimide.

---

<sup>1</sup>Федеральное 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**

Проблема снижения авиационного шума при взлете, наборе высоты и посадке самолета является одной из основных экологических проблем защиты окружающей среды от воздействия авиации. Решения Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации (ИКАО), принятые в феврале 2013 г., существенно ужесточили

международные экологические требования, предъявляемые к авиационной технике, в частности – нормы по шуму самолетов на местности.

Пассивные способы снижения шума вентилятора и двигателя в целом связаны с использованием в газоздушных каналах различного рода звукопоглощающих конструкций (ЗПК), структура которых оптимизирована для поглощения и гашения специфических звуковых частот. Степень снижения шума зависит от общей площади ЗПК и от ее акустической эффективности в каждой температурной зоне двигателя. Применение ЗПК в двигателе позволяет снизить акустическую эмиссию на ~20 EPN (дБ).

В авиастроении находят применение ЗПК следующего строения: резонансные однослойные, резонансные многослойные и пористые градиентные.

Однослойные ЗПК резонансного типа относятся к звукопоглощающим конструкциям первого поколения. В состав таких конструкций входят следующие элементы: входная перфорированная панель, сотовый наполнитель высотой 15–25 мм и непроницаемое жесткое основание. Однослойные ЗПК работают в условиях высоких уровней звука (до 150–160 дБ) и высокоскоростного потока (число Маха  $M=0,3-0,5$ ). Основным эксплуатационным недостатком однослойных резонансных ЗПК – это возможность гашения шума в узкой полосе частот (1500–3000 Гц). Кроме того, акустические характеристики таких конструкций (коэффициент звукопоглощения и импеданс) изменяются в зависимости от режима работы двигателя.

Расширение диапазона звукопоглощения и повышение эффективности резонансных ЗПК может быть достигнуто путем использования многослойных ЗПК, состоящих из нескольких слоев резонансного наполнителя, каждый из которых обеспечивает звукопоглощение в определенной полосе частот. Недостатком многослойных ЗПК являются высокая плотность и трудоемкость изготовления.

Перспективное направление для снижения шума авиационных двигателей – разработка пористых материалов и создание на их основе акустических конструкций, обеспечивающих широкий частотный диапазон эффективного звукопоглощения и технологичность применения данных акустических конструкций в ЗПК. Наиболее эффективно использование пористоволокнистых материалов, представляющих собой композиты на основе волокнистых нетканых полотен из полиэфирных, полиамидных, полиоксидазольных, арамидных или других волокон с полимерным связующим [2–6]; при высоких температурах используются пористоволокнистые материалы из металлических волокон [1, 7–14].

В последние годы в ВИАМ разработаны пористоволокнистые материалы марок ВТИ-7 и ВТИ-12 [15].

Звукопоглощающий материал марки ВТИ-7 разработан на основе волокон полиоксидазола и кремнийорганического связующего. Свойства материала представлены в табл. 1. Материал изготавливают методом прямого прессования на ограничительных упорах.

Таблица 1

**Свойства звукопоглощающего полимерного пористоволокнистого материала марки ВТИ-7**

Свойства	Значения свойств
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,19–0,36
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	500±100
Разрывная нагрузка полоски шириной 50 мм, Н:	
– по длине	470
– по ширине	590
Коэффициент звукопоглощения (толщина образца 5±0,5 мм) в диапазоне частот 1000–5000 Гц, отн. ед.	0,6–1,0
Максимальная температура эксплуатации, °С	200
Горючесть	Трудногорящий

Материал ВТИ-7 устойчив к воздействию влаги: уровень сохранения механических свойств материала составляет 67% после выдержки в камере тропического климата в течение 2 мес и 85% – после выдержки в условиях повышенной влажности ( $\phi=98\%$ , 30 сут). Акустические свойства материала ВТИ-7 также стабильны при воздействии на материал климатических факторов.

Материал ВТИ-7 рекомендован для изготовления сотовых акустических конструкций. Толщина слоя из материала ВТИ-7 выбирается в соответствии с требованиями к акустическим характеристикам ЗПК.

На рабочую температуру 300°C разработан и паспортизован звукопоглощающий пористоволокнистый материал марки ВТИ-12 на основе нетканого полотна из полиимидных волокон и полиимидного связующего СП-97с. Свойства материала представлены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства звукопоглощающего пористоволокнистого материала марки ВТИ-12

Свойства	Значения свойств
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,23±0,05
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	600±100
Разрывная нагрузка полоски шириной 50 мм, Н:	
– по длине	470
– по ширине	590
Коэффициент звукопоглощения (2 слоя, суммарная толщина 3,2±0,5 мм) в диапазоне частот 1,5–5 кГц, отн. ед.	0,60–0,99
Максимальная температура эксплуатации, °С	300 (1000 ч)
Горючесть	Самозатухающий

Материал ВТИ-12 изготавливают методом прямого прессования на ограничительных упорах. Предварительно проводят пропитку нетканого материала из полиимидных волокон полиимидным связующим СП-97с с последующей сушкой. Прессовое формование материала проводят по ступенчатому режиму с максимальной температурой нагрева 300°C.

Материал ВТИ-12 устойчив к термостарению при температуре 300°C. Коэффициент звукопоглощения двухслойных образцов после термостарения при температуре 300°C в течение 1000 ч составил 0,60–0,81 (в диапазоне частот соответственно 1580–3700 Гц). Коэффициент звукопоглощения трехслойного образца после термостарения при температуре 300°C в течение 1000 ч составил 0,6–0,8 (в диапазоне частот соответственно 1400–4200 Гц).

Прочность материала ВТИ-12 сохраняется на уровне 70% после термостарения при 300°C в течение 1000 ч. Удлинение при разрыве после термостарения материала не изменяется.

На основе пористоволокнистого материала ВТИ-7 разработан материал-конструкция марки ВЗМК-1 нового комбинированного типа, сочетающий преимущества резонансных и пористых звукопоглощающих материалов. Материал представляет собой промышленно выпускаемый стеклосотопласт, в который определенным образом внедрены звукопоглощающие элементы из пористоволокнистого материала. Элементы дополнительно обработаны термостойким пленочным клеем, обеспечивающим надежную фиксацию элемента на заданной глубине. Кремнийорганическая пропитка пористоволокнистого материала ВТИ-7 обеспечивает гидрофобизирующие свойства, что снижает влагопоглощение материала. Структура и внешний вид звукопоглощающего материала приведены на рис. 1.

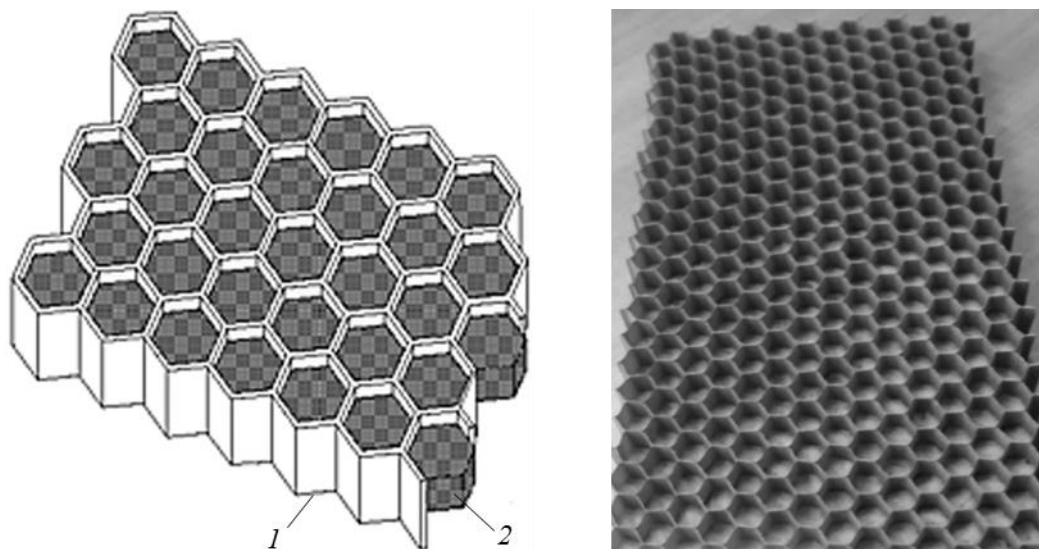


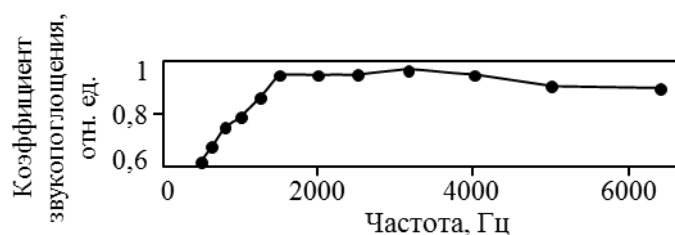
Рис. 1. Звукопоглощающий сотовый материал марки ВЗМК-1:  
1 – сотопласт; 2 – пористоволокнистый материал

Данная структура позволяет повысить прочностные характеристики и снизить плотность конструкции, а также добиться эффективного звукопоглощения в широком диапазоне частот (табл. 3). Снижение плотности достигается за счет уменьшения толщины звукопоглощающего наполнителя при сохранении заданной высоты, что также положительно сказывается на влагопоглощении материала.

Таблица 3

**Коэффициент звукопоглощения материала марки ВЗМК-1**

Частота, Гц	500	630	800	1000	1250	1500	2000	2500	3150	4000	5000	6400
Коэффициент звукопоглощения, отн. ед.	0,62	0,67	0,74	0,78	0,85	0,93	0,93	0,93	0,95	0,93	0,89	0,88



Материал ВЗМК-1 имеет следующий комплекс свойств: диапазон рабочих температур  $-60 \div +150^{\circ}\text{C}$ ; поверхностная плотность  $3,8\text{--}4,2 \text{ кг/м}^2$ ; влагопоглощение материала при  $\phi=98\%$  составляет  $\sim 0,86\%$ ; после выдержки материала в воде при последующем кондиционировании характеристики восстанавливаются до первоначальных значений; после выдержки материала в агрессивной жидкости (бензин, керосин, НГЖ-5У) при кондиционировании характеристики восстановились после воздействия бензина. В остальных случаях это происходило при промывке в ацетоне.

Таким образом, материал ВЗМК-1 и его модификации могут найти широкое применение в зонах двигательных установок с температурой до  $150^{\circ}\text{C}$ , таких как корпус воздухозаборника, створки реверсивного устройства, кожухи, обшивки газогенера-

тора и др. На базе ВИАМ проводятся дальнейшие работы по созданию комбинированных звукопоглощающих материалов-конструкций, связанные с защитой данных материалов от воздействия эксплуатационных факторов, со снижением массы и увеличением технологичности.

Для защиты пассажиров и экипажа от воздействия аэродинамического шума, шума двигательных установок и перепада температур в конструкции летательных аппаратов используются теплозвукоизоляционные материалы. В настоящее время в отечественной авиакосмической технике применяются теплозвукоизоляционные материалы типа АТМ (авиационные теплоизоляционные материалы), представляющие собой рубленое стекловолокно, упакованное в мешки-пакеты из тканепленочного полотна.

Материалы АТМ не соответствуют современным требованиям по звукоизоляции, плотности, теплопроводности ( $>0,06$  Вт/(м·К)), толщине ( $\geq 10$  мм) и имеют высокое влагопоглощение. За рубежом при создании теплозвукоизоляции все больше внимания уделяется полимерным газонаполненным материалам (пенопластам), например – материалам на основе полиимидов. Полиимиды относятся к классу полимерных материалов, обладающих комплексом уникальных эксплуатационных свойств: диапазоном рабочих температур – от  $-196$  до  $+250-350^{\circ}\text{C}$ , пожаробезопасностью, коррозионной инертностью и грибстойкостью, устойчивостью к радиационному воздействию и УФ-лучам, прекрасными диэлектрическими свойствами, низкой газопроницаемостью и т. д. Для теплозвукоизоляции используют эластичные пенополиимиды (ЭППИ), которые являются уникальным материалом, отличающимся низкими плотностью и теплопроводностью, высоким звукопоглощением, огнестойкостью, широким диапазоном рабочих температур, эластичностью, химической стойкостью.

На основе ЭППИ за рубежом выпускается теплоизоляционный материал, который состоит из листового гибкого вспененного полиимиды марки «Солиимид» (США), облицованного с одной стороны полиимидной пленкой. За рубежом теплоизоляционные материалы на основе пенополиимиды «Солиимид» используются практически во всех самолетах фирмы Boeing, начато его применение в воздушных судах фирмы Airbus.

В ВИАМ разработан эластичный пенополиимид, не уступающий по свойствам зарубежным аналогам [16, 17]. Важно отметить, что в рецептуре материала предусмотрены исключительно отечественные компоненты. В настоящее время в ВИАМ разработана технология получения трудногорящего эластичного пенополиимиды марки ВПП-1. Свойства материала в сравнении с аналогами представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительные свойства гибких полиимидных пенопластов

Свойства	Значения свойств пенопластов		
	ПУ-107	«Солиимид»	ВПП-1
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	19–21	7–10	7–10
Теплопроводность, Вт/(м·К), при $^{\circ}\text{C}$ :			
20	0,057	0,046	0,043
150	–	0,072	0,051
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	$-60\div+200$	$-190\div+200$	$-60\div+250$
Время остаточного горения, с	14	0	0
Категория горючести	Самозатухающий	Трудногорящий	
Эластичность	Жесткий	Эластичный	

Таким образом, эластичный пенополиимид ВПП-1 не уступает по физическим свойствам и характеристикам пожарной опасности зарубежному аналогу марки

«Солиמיד» (США). Материал паспортизован и рекомендован для теплоизоляции пневмо-, гидро- и маслосистем авиакосмической техники, в том числе трубопроводов сложной конфигурации, элементов системы кондиционирования воздуха (СКВ) летательных аппаратов.

Материал марки ВПП-1 опробован в качестве звукопоглощающих вкладышей сотопласта (по аналогии с материалом ВЗМК-1). Для этого исходный форполимер с использованием специальной оснастки вспенен в сотопласте толщиной 30 мм, дополнительно оснастка предусматривала удаление образующихся при вспенивании корок и расположение материала на заданной глубине 8 мм с обеих сторон (толщина пенопласта ~14 мм). При вспенивании пенопласт приклеивается к внутренней поверхности стенок сот. Зависимость коэффициента звукопоглощения полученного комбинированного звукопоглощающего материала-конструкции на основе сотопласта и пенополиимида от частоты представлена на рис. 2.

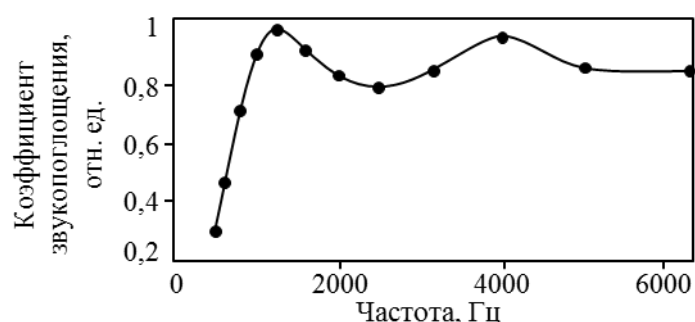


Рис. 2. Коэффициент звукопоглощения материала-конструкции на основе сотопласта и пенополиимида

Другим эффективным способом снижения уровня шума и вибрации в кабине экипажа и пассажирском салоне является применение вибропоглощающих материалов в виде покрытий, которые наклеиваются на внутреннюю поверхность панелей фюзеляжа, перегородки и другие конструкции самолета, испытывающие повышенный уровень виброакустических нагрузок.

Наиболее эффективными вибропоглощающими материалами (ВПМ) являются полимерные материалы, обладающие способностью к диссипации внешней энергии, обусловленной особенностями их молекулярного и надмолекулярного строения. В основном в авиации для демпфирования применяются каучуки, резины и слоистые материалы на их основе.

Уровень вибропоглощения характеризуется коэффициентом механических потерь (или тангенсом угла механических потерь –  $\operatorname{tg}\delta$ ). Основополагающими параметрами любого полимерного вибропоглощающего материала являются  $\operatorname{tg}\delta$  и температура, соответствующая максимальному значению этой характеристики ( $T_{\operatorname{tg}\delta_{\max}}$ ). Коэффициент механических потерь полимеров значительно зависит от температуры и частоты колебаний. В связи с этим значения  $\operatorname{tg}\delta$  принято приводить при определенной температуре и частоте.

Максимальные потери механической энергии ( $\operatorname{tg}\delta_{\max}$ ) в полимерах проявляются в области перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое, т. е. в области размораживания сегментальной подвижности, положение которой на шкале температур определяется температурой стеклования  $T_c$ . При частотах  $>1$  Гц значения ( $T_{\operatorname{tg}\delta_{\max}}$ ), как правило, лежат выше температуры  $T_c$  [18–21].

Кроме высокого коэффициента механических потерь, вибропоглощающие материалы, предназначенные для применения в авиации, должны иметь минимальную поверхностную плотность, хорошую адгезию, стойкость к воздействию повышенной влажности и температуры, низкое водопоглощение, отвечать требованиям пожарной безопасности.

В ВИАМ разработаны листовые вибропоглощающие материалы марок: ВТП-1В и ВТП-2В [22] – на основе термоэластопластов, ВТП-3В – на основе термостойких полимерных волокон и термопластичного связующего [5].

Вибропоглощающий листовый материал ВТП-1В получают методом экструзии расплава композиции на основе термоэластопласта со специальными добавками, повышающими атмосферостойкость и пожаробезопасность. Материал ВТП-1В рекомендуется для применения в качестве покрытий, эластичных имитаторов силовых элементов фюзеляжа и вибродемпфирующих прокладок, работающих в диапазоне температур от  $-60$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ .

Слоистый вибропоглощающий листовый материал ВТП-2В состоит из слоя листового материала ВТП-1В, адгезионного слоя из модифицированного поливинилацетата ВПС-2,5 и армирующего слоя алюминиевой фольги, усиленной стеклосеткой. Материал ВТП-2В предназначен для работы в интервале температур от  $-60$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  и рекомендуется для применения в качестве покрытий панелей фюзеляжа в местах повышенной виброакустической нагрузки.

Коэффициент механических потерь вибропоглощающих материалов определяли на динамическом механическом анализаторе DMA/SDTA 861 фирмы Mettler Toledo в условиях динамического сдвигового нагружения в диапазоне температур от  $-60$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  при частоте 100 Гц, а также в условиях трехточечного изгиба комбинированных образцов ВПМ, наклеенных на металлическую подложку из алюминиевого сплава толщиной 1 мм. На рис. 3 приведены температурные зависимости коэффициентов механических потерь вибропоглощающих материалов ВТП-1В и ВТП-2В при частоте 100 Гц в условиях сдвигового нагружения. На рис. 3, *а* наблюдается один пик при температуре около  $-15^{\circ}\text{C}$ , на рис. 3, *б* – два пика при температурах около  $-15$  и  $+38^{\circ}\text{C}$ .

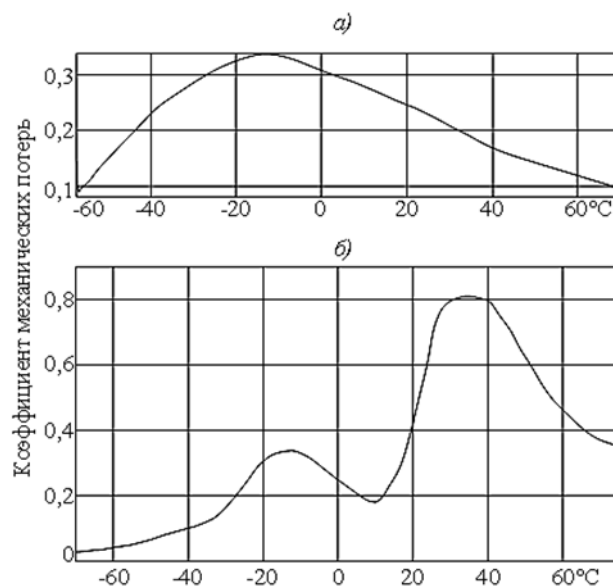


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента механических потерь вибропоглощающих материалов ВТП-1В (*а*) и ВТП-2В (*б*) в условиях сдвигового нагружения при частоте 100 Гц

Введение поливинилацетата (ПВА) в состав материала ВТП-2В повышает диссипативные свойства материала в области повышенных температур. Такой эффект объясняется тем, что первый из пиков, лежащий в области отрицательных температур, соответствует температуре стеклования полиуретанового слоя ( $-25^{\circ}\text{C}$ ), а второй пик относится к области стеклования слоя на основе ПВА ( $28^{\circ}\text{C}$ ), за счет чего и повышается коэффициент механических потерь материала ВТП-2В в области повышенных температур.

Разработанные вибропоглощающие материалы ВТП-1В и ВТП-2В имеют водопоглощение  $<2\%$ , являются грибостойкими, не вызывают коррозии алюминиевых сплавов.

Материал ВТП-3В рекомендуется для применения в качестве вибропоглощающего покрытия потолочных панелей вертолетов, воздухопроводов различных транспортных средств и других конструкций, работающих одновременно при воздействии вибрации и температур до  $180^{\circ}\text{C}$ .

### Заключение

Таким образом, в ВИАМ разработана серия полимерных материалов с акустическими свойствами, которые могут использоваться как в составе звукопоглощающих конструкций двигательных установок, так и для защиты пассажиров и экипажа от воздействия шума и вибраций. Комплексное применение данных материалов 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 отечественного авиапрома.

### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Сытый Ю.В., Сагомонова В.А., Максимов В.Г., Бабашов В.Т. Звукотеплоизолирующий материал градиентной структуры ВТИ-22 // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №2. С. 47–49.
3. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №S1. С. 3–9.
4. Кондрашов Э.К., Кузьмин В.В., Минаков В.Т., Пономарева Е.А. Нетканые материалы на основе термостойких полимерных волокон и межплиточные уплотнения // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. № S1. С. 51–55.
5. Сытый Ю.В., Кислякова В.И., Сагомонова В.А., Антюфеева Н.В. Перспективный вибропоглощающий материал ВТП-3В // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №3. С. 47–49.
6. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. № 1. С. 3–4.
7. Фарафонов Д.П., Мигунов В.П. Изготовление пористоволокнистого материала сверхнизкой плотности для звукопоглощающих конструкций авиационных двигателей // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №4. С. 26–30.
8. Sun F.G., Chen H.L., Wu J.H., Feng K. Sound absorbing characteristics of fibrous metal materials at high temperatures // *Appl. Acoust.* 2010. V. 711. P. 221–235.
9. Мигунов В.П., Фарафонов Д.П. Исследование основных эксплуатационных свойств нового класса уплотнительных материалов для проточного тракта ГТД // *Авиационные материалы и технологии*. 2011. №3. С. 15–20.
10. Мигунов В.П., Ломберг Б.С. Пористоволокнистые металлические материалы для звукопоглощающих и уплотнительных конструкций / В сб.: 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: юбилейный науч.-технич. сб. М.: ВИАМ, 2007. С. 270–275.

11. Серов М.М., Борисов Б.В. Получение металлических волокон и пористых материалов из них методом экстракции висящей капли расплава // Технология легких сплавов. 2007. №3. С. 62–65.
12. Борисов Б.В. Разработка технологии получения волокон и пористых материалов из жаростойких сплавов методом экстракции висящей капли расплава: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МАТИ–РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2011. 19 с.
13. Мигунов В.П., Фарафонов Д.П., Деговец М.Л. Пористоволокнистый материал сверхнизкой плотности на основе металлических волокон // Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 38–41.
14. Zhengping X., Jilei Z., Huiping T., Qingbo A., Hao Z., Jianyong W., Cheng L. Progress of application researches of porous fiber metals // Materials. 2011. №4. P. 816–824.
15. 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: 30.07.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-6-9-9.
16. Бейдер Э.Я., Гуреева Е.В., Петрова Г.Н. Пенополиимиды // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №6. С. 2–8.
17. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф., Гуреева Е.В. Композиционные термопластичные материалы и пенополиимиды // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №11. Ст. 01. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 30.07.2015).
18. Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Надькин Е.А. Вибропоглощающие материалы экстра-класса. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2007. С. 17–19.
19. Мясникова М.П., Позамонтир А.Г., Громов В.В. Методы регулирования вибропоглощающих свойств полимерных материалов / В сб. материалов семинара «Вибропоглощающие материалы и покрытия и их применение». 1974. С. 41–45.
20. Смотровая С.А. Анализ вибропоглощающих свойств полимерных материалов с целью оценки возможного их применения в конструкциях демпферов и динамически подобных моделей // Пластические массы. 2002. №3. С. 39–45.
21. Ионов А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах. С-Пб.: ГНЦ РФ ЦНИИ им. А.Н. Крылова, 2000. 123 с.
22. Сытый Ю.В., Сагомонова В.А., Кислякова В.И., Большаков В.А. Вибропоглощающие материалы на основе термоэластопластов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №3. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 30.07.2015).