



УДК 678.026

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-10-10-10

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ
МАТЕРИАЛОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ МЕХАНИЧЕСКИХ
ПОТЕРЬ**

В.А. Сагомонова

В.И. Кислякова

Т.Ю. Тюменева

В.А. Большаков

Октябрь 2015

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

В.А. Сагомонова¹, В.И. Кислякова¹, Т.Ю. Тюменева¹, В.А. Большаков¹

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Приведено исследование коэффициента механических потерь ($\text{tg}\delta$) вибропоглощающих материалов различного состава: в виде вибропоглощающего покрытия, с металлическим и композиционным армирующими слоями, а также клеевыми слоями различной толщины и химической природы. Показано, что химическая природа и толщина клеевого слоя оказывают влияние на демпфирующие свойства, а наличие армирующего слоя приводит к увеличению коэффициента механических потерь.

Ключевые слова: *вибрация, вибропоглощение, вибропоглощающие материалы, динамический механический анализ (ДМА), коэффициент механических потерь.*

V.A. Sagomnova, V.I. Kislyakova, T.Yu. Tyumeneva, V.A. Bolshakov

THE INFLUENCE OF VIBRATION DAMPING MATERIALS' COMPOSITION ON THEIR MECHANICAL LOSS FACTOR

The research of mechanical loss factor ($\text{tg}\delta$) of vibration damping materials of different composition: extensional damping material, materials with metallic and composite constraining layers and ones with different thickness and chemical nature adhesive layers is hereby provided. It has been shown that chemical nature and thickness of adhesive layer alters its damping properties and existence of constraining layer leads to increasing of mechanical loss factor.

Keywords: *vibration, vibration damping, vibration damping materials, dynamic mechanical analysis (DMA), mechanical loss factor.*

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

Проблема вибрации является актуальной для многих сфер жизнедеятельности человека – начиная от производства спортивного инвентаря, обуви и ручного инструмента до изделий автомобильной и авиакосмической отрасли.

Ежегодно в мире производится, выпускается и патентуется большое количество разнообразных вибропоглощающих материалов (ВПМ), которые могут быть условно разделены на следующие группы: однослойные и многослойные вибропоглощающие покрытия; вибропоглощающие материалы, содержащие внутренние и внешние армирующие слои; вибропоглощающие мастики и битумные материалы, а также устройства для гашения вибраций транспортных средств и механизмов, реализующие принцип «материал–технология–конструкция» [1–15].

Наиболее распространенными группами являются вибропоглощающие покрытия и армированные вибропоглощающие материалы (в зарубежной литературе известные как *extensional* или *free layer damping u constrained layer damping materials* соответственно). В работах советских ученых, современных зарубежных исследователей и технической информации производителей вибропоглощающих материалов постулируется, что вибропоглощающие полимерные слои в них подвергаются различным видам деформации [16–18], и лишь в некоторых работах приводится расчетное обоснование данного явления, например модель Росса–Кервина–Унгара [19, 20].

Демпфирование по первому типу осуществляется нанесением покрытия из ВПМ на вибрирующую поверхность, при этом в вибропоглощающем материале реализуются деформации растяжения–сжатия.

Армированные ВПМ включают армирующий слой (или два внешних слоя с прослойкой из полимерного материала), нанесенный на вязкоупругий полимерный слой, расположенный на вибрирующем субстрате. Очевидно, что армирующие слои имеют значение модуля упругости, превосходящее модуль упругости полимерной прослойки. Механизм диссипации энергии в данном случае значительно отличается от предыдущего – наличие армирующего слоя вызывает относительно большие сдвиговые деформации в вязкоупругом полимерном слое, чем обусловлена их большая эффективность по демпфирующим свойствам.

Широкое распространение получили также демпфирующие материалы с липким слоем (*damping tapes with pressure sensitive adhesive*), состоящие из вибропоглощающего адгезионного слоя (или вибропоглощающего и адгезионного слоев сопоставимых толщин) с защитной антиадгезионной пленкой с одной стороны и армирующего слоя, например из фольги, с противоположной стороны. Подобные материалы выпускают различные зарубежные компании – 3M (Damping foil 2552), Polymer Technologies Inc. (линейка продуктов под маркой Polydamp), MontBlanc Technologies Groupe (Smacsonic), Roush (линейка продуктов под маркой Damping Adhesive RA) и др.

Специфика применения подобных материалов заключается в том, что, во-первых, толщины вибропоглощающего, адгезионного и армирующего слоев уже заранее четко определены фирмой-производителем. Во-вторых, если вибропоглощающий слой одновременно является адгезионным, то такой ВПМ эффективен только в соответствующем температурном интервале (например, большинство клеев для высокотемпературного применения проявляют демпфирующие свойства в области высоких температур), определяемом его термодинамическими характеристиками, что необходимо учитывать для требуемых условий работы [20–22].

В связи с вышеизложенным целью данной работы является исследование влияния состава (наличие и состав армирующего слоя, химическая природа и толщина клеевых слоев) на демпфирующие свойства (коэффициент механических потерь) вибропоглощающих материалов на основе термопластичного полиуретана методом динамического механического анализа (ДМА).

Материалы и методы

Исследование демпфирующих свойств образцов проводили на динамическом механическом анализаторе DMA/SDTA861e фирмы Mettler Toledo (в статической воздушной среде) в условиях трехточечного изгиба в диапазоне температур от 20 до 100°C (скорость нагрева 3°C/мин) и при частоте 100 Гц по методике, разработанной во ФГУП «ВИАМ». Образец располагали на двух призматических опорах, переменную нагрузку прикладывали к его середине посредством подвижной призматической опоры.

Объектами исследования данной работы являются образцы разработанного во ФГУП «ВИАМ» листового вибропоглощающего материала марки ВТП-1В на основе термопластичного полиуретана с различными армирующими слоями – металлическим и композиционным.

Для исследования влияния химической природы клея на коэффициент механических потерь изготовленные образцы вибропоглощающего материала ВТП-1В с армирующим слоем из металла приклеивали на подложку (размер 10×80×1 мм) из алюминиевого сплава при помощи клеев холодного отверждения на основе бутадиен-нитрильного, полиуретанового и силоксанового каучуков, разработанных во ФГУП «ВИАМ» [23, 24]:

| Клей | Температура стеклования, °С |
|--------------|--------------------------------|
| ВКР-27 | -32,2÷-18,3 |
| ВКР-24 | -31,0÷-25,0 |
| ВКР-86 | -48÷-44. |

Склеивание с подложкой осуществляли со стороны вибропоглощающего слоя.

Результаты и обсуждение

Уровень вибропоглощения демпфирующих материалов характеризуется коэффициентом механических потерь (или тангенсом угла механических потерь – $tg\delta$).

Известно, что коэффициент механических потерь полимеров, определяющий эффективность гашения вибраций, не является константой и в значительной степени зависит от температуры и частоты колебаний. Максимальные потери механической энергии ($tg\delta_{max}$) 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 [25, 26].

В качестве контрольных будем рассматривать значения коэффициента механических потерь ($tg\delta$) при температуре 20°C и повышенной температуре 100°C. Значения при комнатной температуре, как правило, приводятся для всех вибропоглощающих материалов, но при 100°C они также необходимы, поскольку материал ВТП-1В является вибропоглощающим материалом авиационного назначения, а температура акустически нагруженных поверхностей, например в области двигателя, может достигать подобных значений.

Контрольные значения коэффициента механических потерь образцов вибропоглощающего материала ВТП-1В без армирующего покрытия и с армирующим слоем из металла в диапазоне температур от 20 до 100°C приведены в таблице.

Значения коэффициента механических потерь исследованных образцов при контрольных температурах

| Состав образцов на подложке на основе материала ВТП-1В | Направление выкладки наполнителя | Коэффициент механических потерь ($tg\delta$) при контрольных значениях температуры, °C | |
|--|----------------------------------|--|------|
| | | 20 | 100 |
| В виде однослойного покрытия | – | 0,07 | 0,02 |
| С армирующим слоем из металла | – | 0,15 | 0,07 |
| С композиционным армирующим слоем из углеродной ткани | 0° | 0,12 | 0,10 |
| | 90° | 0,14 | 0,11 |

Из представленных в таблице данных видно, что коэффициент механических потерь образцов из материала ВТП-1В со слоем из металла больше, чем у образцов без армирующего покрытия как при комнатной, так и при повышенной температурах – в 2 и 3,5 раза соответственно. Таким образом, подтверждается предположение о большей эффективности армированных вибропоглощающих материалов по сравнению с однослойными вибропоглощающими покрытиями.

Контрольные значения коэффициента механических потерь вибропоглощающего материала ВТП-1В с композиционным армирующим слоем на основе углеткани (с углами выкладки наполнителя 0° и 90° соответственно) и эпоксикаучуковой клеевой пленки, представленные в таблице, превышают значения $\text{tg}\delta$ образцов из материала ВТП-1В без армирующего покрытия в 1,5–2 раза при 20°C и в 5 раз при 100°C .

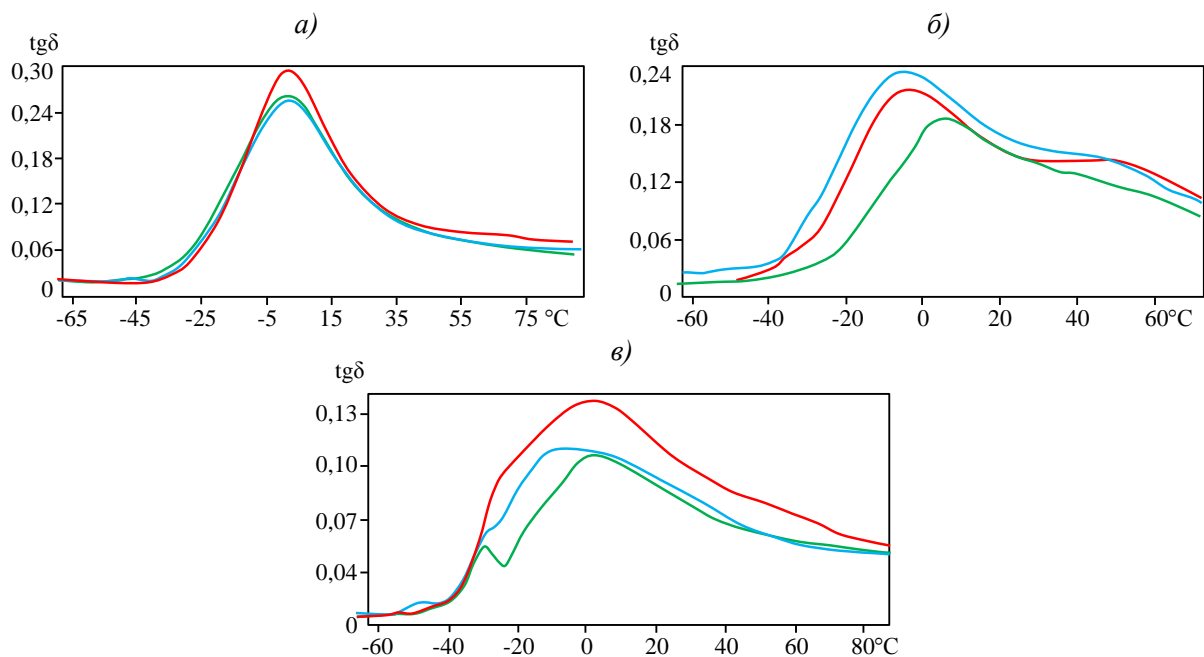
Увеличение коэффициента механических потерь (как относительно значений для образцов из материала ВТП-1В без армирующего слоя, так и для аналогичных образцов с металлическим армирующим слоем) при 100°C может быть объяснено влиянием связующего армирующего слоя. Как упомянуто ранее, максимальные механические потери в полимерах наблюдаются выше их температуры стеклования в зоне наиболее сильно развитых релаксационных явлений [27]. Температура стеклования использованной в качестве связующего эпоксикаучуковой клеевой пленки, согласно данным термомеханического анализа (ТМА), находится в области $90\text{--}110^\circ\text{C}$. Следовательно, можно предположить, что связующее армирующего слоя вносит свой вклад в величину $\text{tg}\delta$.

Очевидно, что направление выкладки наполнителя также оказывает влияние на величину коэффициента механических потерь (см. таблицу). В зарубежной научно-технической литературе этому обстоятельству уделяется значительное внимание, в особенности при разработке ПКМ с повышенными вибропоглощающими свойствами [28–35].

Из вышеприведенных данных следует, что предпочтительнее использовать угол выкладки наполнителя армирующего слоя 90° , так как ему соответствуют большие значения коэффициента механических потерь.

Следует также отметить, что по величине коэффициента механических потерь образцы материала ВТП-1В с композиционным армирующим слоем превосходят аналогичные образцы с металлическим армирующим слоем при 100°C , а при 20°C – наблюдается обратная зависимость. Таким образом, вибропоглощающие материалы с композиционными армирующими слоями целесообразно использовать в условиях высоких температур, например, для снижения вибрации от двигателей, воздухопроводов-отопителей и т. п.

Результаты исследования коэффициента механических потерь образцов вибропоглощающего материала ВТП-1В с армирующим слоем из металла при частоте 100 Гц и в диапазоне температур от -60 до $+80^\circ\text{C}$ с различным количеством слоев клея приведены на рисунке.



Температурная зависимость коэффициента механических потерь вибропоглощающего материала ВТП-1В с армирующим слоем на подложке при частоте 100 Гц с различным числом слоев клея ВКР-24 (а), ВКР-27 (б) и ВКР-86 (в):

— один слой; — два слоя; — три слоя

Следует отметить, что приведенные кривые зависимости $\text{tg}\delta$ от температуры для клеев ВКР-24 и ВКР-27 (независимо от числа слоев клея) проходят через максимум при температуре – от -10 до +5 °C, соответствующий $T_{\text{tg}\delta\text{max}}$ вибропоглощающего материала ВТП-1В, имеющего температуру стеклования $T_{\text{ст}}$ в области -35 °C. Однако исследованные образцы с клеем ВКР-24 имеют узкий температурный интервал эффективного вибропоглощения с высокими значениями $\text{tg}\delta$, тогда как для образцов с ВКР-27 наблюдается расширение $T_{\text{tg}\delta\text{max}}$ с одновременным снижением значений коэффициента механических потерь.

Величина $\text{tg}\delta$ образцов с клеем ВКР-86 значительно ниже по сравнению с аналогичным показателем для образцов с клеями ВКР-24 и ВКР-27, но для них также наблюдается широкий интервал $T_{\text{tg}\delta\text{max}}$.

Полученный эффект можно объяснить тем, что клеи ВКР-24 и ВКР-27, несмотря на различный химический состав, имеют близкие температурные области стеклования как между собой, так и с базовым материалом вибропоглощающего слоя – термопластичным полиуретаном, в то время как температура стеклования многокомпонентного клея ВКР-86 находится в температурной области почти на 20 °C ниже.

Из представленных на рисунке данных также видно, что, судя по характеру расположения кривых зависимости $\text{tg}\delta$ от температуры, толщина клеевой прослойки каждого исследованного клея оказывает влияние на демпфирующие свойства образцов

вибропоглощающего материала ВТП-1В с армирующим слоем на металлической подложке.

Например, с увеличением числа слоев клея ВКР-24 от одного до трех в области температур $>0^{\circ}\text{C}$ величина $\text{tg}\delta$ возрастает, а в области отрицательных температур наибольшее значение $\text{tg}\delta$ соответствует двум слоям клея.

Аналогичная зависимость наблюдается при использовании клея ВКР-27, однако $\text{tg}\delta$ достигает наибольших значений, соответствующих двум слоям клея, во всем исследованном диапазоне температур.

Иная картина наблюдается при склеивании поверхностей материала ВТП-1В и подложки клеем ВКР-86: большему числу слоев клея (два и три) соответствуют меньшие значения $\text{tg}\delta$, что может быть связано с многокомпонентным составом клея.

Заключение

Наличие армирующего слоя приводит к повышению коэффициента механических потерь, т. е. армированные вибропоглощающие материалы по демпфирующим свойствам являются более эффективными по сравнению с однослойными вибропоглощающими покрытиями.

При температуре 100°C большие значения коэффициента механических потерь по сравнению с аналогичными образцами материала ВТП-1В с металлическим армирующим слоем имеют образцы с композиционным армирующим слоем, а при комнатной температуре – наоборот.

На величину коэффициента механических потерь вибропоглощающих материалов с композиционным армирующим слоем оказывает влияние направление выкладки наполнителя армирующего слоя.

При выборе клея для соединения вибропоглощающего материала с вибрирующей поверхностью необходимо не только учитывать его эксплуатационные характеристики (рабочую температуру, адгезию к соединяемым поверхностям), но и термодинамические свойства ($T_{\text{ст}}$).

Количество слоев клея определенной химической природы, наносимого при соединении вибропоглощающего материала с вибрирующей поверхностью, по-разному влияет на коэффициент механических потерь результирующей составной конструкции. В связи с этим при осуществлении склеивания следует руководствоваться рекомендациями технической документации на проведение соответствующих процессов и учиты-

вать, что с увеличением числа слоев клея возрастает привес на единицу площади поверхности.

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. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
4. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
5. Вибропоглощающий материал: пат. 2148497 Рос. Федерация; опубл. 10.05.2000.
6. Теплоизолирующий и вибропоглощающий листовой материал: пат. 2456178 Рос. Федерация; опубл. 20.07.2012.
7. Герметизирующая мастика и вибропоглощающий полимерный материал на ее основе: пат. 2421497 Рос. Федерация; опубл. 27.12.2011.
8. Виброшумопоглощающий звукоизолирующий материал: пат. 2340640 Рос. Федерация; опубл. 10.12.2008.
9. Конструкционный слоистый изолирующий материал: пат. 2159185 Рос. Федерация; опубл. 20.11.2000.
10. Вибропоглощающий материал: пат. 2035256 Рос. Федерация; опубл. 20.05.1995.
11. Устройство для гашения вибраций трубопроводов: пат. 2234024 Рос. Федерация; опубл. 10.08.2004.
12. Вибропоглощающее устройство: пат. 2117336 Рос. Федерация; опубл. 10.08.1998.
13. Устройство крепления авиационных двигателей: полезная модель 18091 Рос. Федерация; опубл. 20.05.2001.
14. Вибропоглощающий материал: пат. 2235106 Рос. Федерация; опубл. 27.08.2004.
15. Теплоизолирующий и вибропоглощающий листовой материал: полезная модель 102567 Рос. Федерация; опубл. 10.03.2011.
16. Rongong J.A., Goruppa A.A., Buravalla V.R. Plasma deposition of constrained layer damping coatings //Journal of Mechanical Engineering Science. Part C. 2004. V. 218. P. 669–679.

17. Sperling L.H. Sound and Vibration Damping with Polymers: Basic Viscoelastic Definitions and Concepts /In: American Chemical Society Symposium Series. Washington D.C. 1990. P. 5–23.
18. Никифоров А.С., Бурдин С.В. Комбинированное вибропоглощающее покрытие и его применение /В сб. материалов семинара «Вибропоглощающие материалы и покрытия и их применение». Л. 1974. С. 15–19.
19. Gallimore C.A. Passive viscoelastic constrained layer damping application for a small aircraft landing gear system /In: Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in mechanical Engineering. Blackburg. VA. 2008. P. 1–102.
20. Jones D.I.G. Shock and Vibration Handbook. NY: McGraw-Hill. 5-th edition. Chapter 37. 2011. (электронная версия).
21. Краев И.Д., Образцова Е.П., Юрков Г.Ю. Влияние морфологии магнитного наполнителя на радиопоглощающие характеристики композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2014. №S2. С. 10–14.
22. Шульдешов Е.М., Лепешкин В.В., Платонов М.М., Романов А.М. Метод определения акустических характеристик звукопоглощающих материалов в расширенном до 15 кГц диапазоне частот //Авиационные материалы и технологии (в печати).
23. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Тюменева Т.Ю. Свойства клеев и клеящих материалов для изделий авиационной техники //Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №1. С. 14–24.
24. Тюменева Т.Ю., Жадова Н.С., Лукина Н.Ф. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области клеев резинотехнического назначения и самоклеящихся материалов //Труды ВИАМ. 2014. №7. Ст. 04 (viam-works.ru).
25. Аскадский А.А., Лучкина Л.В., Никифорова Г.Г. Вибропоглощающие градиентные полимерные материалы //Пластические массы. 2007. №4. С. 30–33.
26. Rao M.D. Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes //J. Sound and Vibration. 2003. №262. P. 457–474.
27. Gandhi F., Austruy J. Constrained-layer damping with gradient polymers for effectiveness over broad temperature ranges //The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal. 2007. V. 45. №8. P. 1885–1893.
28. Fotsing E.R., Sola M., Ross A., Ruiz E. Lightweight damping of composite sandwich beams: Experimental analysis //Journal of Composite Materials. 2012 (<http://jcm.sagepub.com>).

29. Systems and methods for reducing noise in aircraft fuselages and other structures: pat. 8042768 US; publ. 25.10.2010.
30. Improved composite materials: pat. 0268945 US; publ. 03.11.2011.
31. Structural composite material with improved acoustic and vibrational damping properties: pat. 8450225 US; publ. 28.05.2013.
32. Multilayer and composition gradient structures with improved damping properties: pat. 0164907 US; publ. 28.06.2012.
33. Polymer composites possessing improved vibration damping: pat. 0313307 US; publ. 13.12.2012.
34. Composite components and heat-curing resins and elastomers: pat. 0034833 (US), publ. 09.02.2012.
35. Nagasankar S., Balasivanandha P., Velmurugan R. Influence of the Different Fiber lay-ups on the Damping Characteristics of the Polymer Matrix //Journal of Applied Sciences. 2012. V. 12 (10). P. 1071–1074.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2015. №1 (34). S. 3–33.
2. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry in aviation materials science] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
3. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for aviation engineering] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530.
4. Kablov E.N. Sovremennye materialy – osnova innovacionnoj modernizacii Rossii [Modern materials – basis of innovative modernization of Russia] //Metally Evrazii. 2012. №3. S. 10–15.
5. Vibropogloshhajushhij material [Vibropogloshchayushchy material]: pat. 2148497 Ros. Federacija; opubl. 10.05.2000.
6. Teploizolirujushhij i vibropogloshhajushhij listovoj material [Heat-insulating and vibropogloshchayushchy sheet material]: pat. 2456178 Ros. Federacija; opubl. 20.07.2012.

7. Germetizirujushhaja mastika i vibropogloshhajushhij polimernyj material na ee osnove [Pressurizing mastic and vibropogloshchayushchy polymeric material on its basis]: pat. 2421497 Ros. Federacija; opubl. 27.12.2011.
8. Vibroshumopogloshhajushhij zvukoizolirujushhij material [Vibroshumopogloshchayushchy soundproofing material]: pat. 2340640 Ros. Federacija; opubl. 10.12.2008.
9. Konstrukcionnyj sloistyj izolirujushhij material [Constructional layered isolating material]: pat. 2159185 Ros. Federacija; opubl. 20.11.2000.
10. Vibropogloshhajushhij material [Vibropogloshchayushchy material]: pat. 2035256 Ros. Federacija; opubl. 20.05.1995.
11. Ustrojstvo dlja gashenija vibracij truboprovodov [The device for clearing of vibrations of pipelines]: pat. 2234024 Ros. Federacija; opubl. 10.08.2004.
12. Vibropogloshhajushhee ustrojstvo [Vibropogloshchayushchey device]: pat. 2117336 Ros. Federacija; opubl. 10.08.1998.
13. Ustrojstvo kreplenija aviacionnyh dvigatelej [Device of fastening of aircraft engines]: poleznaja model' 18091 Ros. Federacija; opubl. 20.05.2001.
14. Vibropogloshhajushhij material [Vibropogloshchayushchy material]: pat. 2235106 Ros. Federacija; opubl. 27.08.2004.
15. Teploizolirujushhij i vibropogloshhajushhij listovoj material [Heat-insulating and vibropogloshchayushchy sheet material]: poleznaja model' 102567 Ros. Federacija; opubl. 10.03.2011.
16. Rongong J.A., Goruppa A.A., Buravalla V.R. Plasma deposition of constrained layer damping coatings //Journal of Mechanical Engineering Science. Part C. 2004. V. 218. P. 669–679.
17. Sperling L.H. Sound and Vibration Damping with Polymers: Basic Viscoelastic Definitions and Concepts /In: American Chemical Society Symposium Series. Washington D.C. 1990. P. 5–23.
18. Nikiforov A.S., Burdin S.V. Kombinirovannoe vibropogloshhajushhee pokrytie i ego primenenie [The combined vibropogloshchayushchy covering and its application] /V sb. materialov seminara «Vibropogloshhajushhie materialy i pokrytija i ih primenenie». L. 1974. S. 15–19.
19. Gallimore C.A. Passive viscoelastic constrained layer damping application for a small aircraft landing gear system /In: Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in mechanical Engineering. Blackburg, VA. 2008. P. 1–102.

20. Jones D.I.G. Shock and Vibration Handbook. NY: McGraw-Hill. 5-th edition. Chapter 37. 2011. (электронная версия).
21. Kraev I.D., Obrazcova E.P., Jurkov G.Ju. Vlijanie morfologii magnitnogo napolnitelja na radiopogloshhajushhie karakteristiki kompozicionnyh materialov [Influence of morphology of magnetic filler on radio absorbing characteristics of composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №S2. S. 10–14.
22. Shul'deshov E.M., Lepeshkin V.V., Platonov M.M., Romanov A.M. Metod opredelenija akusticheskikh karakteristik zvukopogloshhajushhih materialov v rasshirennom do 15 kGc diapazone chastot [Method of definition of acoustic characteristics of sound-proof materials in the range of frequencies expanded to 15 kHz] //Aviacionnye materialy i tehnologii (v pechati).
23. Lukina N.F., Dement'eva L.A., Petrova A.P., Tjumeneva T.Ju. Svoystva kleev i klejashhih materialov dlja izdelij aviacionnoj tehniki [Properties of glues and gluing materials for products of aviation engineering] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2009. №1. S. 14–24.
24. Tjumeneva T.Ju., Zhadova N.S., Lukina N.F. Razrabotki FGUP «VIAM» v oblasti kleev rezinotehnicheskogo naznachenija i samoklejashhihsja materialov [Development of VIAM Federal State Unitary Enterprise in the field of glues of industrial rubber assignment and being self-glued materials] //Trudy VIAM. 2014. №7. St. 04 (viam-works.ru).
25. Askadskij A.A., Luchkina L.V., Nikiforova G.G. Vibropogloshhajushhie gradientnye polimernye materialy [Vibropogloshchayushchiye gradient polymeric materials] //Plasticheskie massy. 2007. №4. S. 30–33.
26. Rao M.D. Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes //J. Sound and Vibration. 2003. №262. P. 457–474.
27. Gandhi F., Austruy J. Constrained-layer damping with gradient polymers for effectiveness over broad temperature ranges //The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal. 2007. V. 45. №8. P. 1885–1893.
28. Fotsing E.R., Sola M., Ross A., Ruiz E. Lightweight damping of composite sandwich beams: Experimental analysis //Journal of Composite Materials. 2012 (<http://jcm.sagepub.com>).
29. Systems and methods for reducing noise in aircraft fuselages and other structures: pat. 8042768 US; publ. 25.10.2010.
30. Improved composite materials: pat. 0268945 US; publ. 03.11.2011.
31. Structural composite material with improved acoustic and vibrational damping properties: pat. 8450225 US; publ. 28.05.2013.

32. Multilayer and composition gradient structures with improved damping properties: pat. 0164907 US; publ. 28.06.2012.
33. Polymer composites possessing improved vibration damping: pat. 0313307 US; publ. 13.12.2012.
34. Composite components and heat-curing resins and elastomers: pat. 0034833 (US), publ. 09.02.2012.
35. Nagasankar S., Balasivanandha P., Velmurugan R. Influence of the Different Fiber lay-ups on the Damping Characteristics of the Polymer Matrix //Journal of Applied Sciences. 2012. V. 12 (10). P. 1071–1074.