

ОТЗЫВ

**официального оппонента Люсовой Людмилы Ромуальдовны
на диссертационную работу Сагомоновой Валерии Андреевны
«Слоистые вибропоглощающие материалы на основе термоэластопла-
стов и органических волокон и технология их изготовления»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.17.06 –
Технология и переработка полимеров и композитов**

Актуальность диссертационной работы

В различных отраслях промышленности – космической, транспортной, автомобильной, строительстве большое внимание уделяется разработке новых эффективных средств борьбы с вибрациями и возбуждаемым ими шумом. Развитие современной техники, в том числе авиационной, приводит к увеличению нагрузок на нее. Негативным их следствием является значительное возрастание уровня шума и вибрации внутри летательных аппаратов. Это не только отрицательно сказывается на здоровье пассажиров и экипажа, но и снижает надежность работы и срок службы бортовой электроники. Традиционно применяемые звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы не всегда обеспечивают надежную защиту от вибрации и вызванного ей структурного шума. Особенно подвержены действию вибрации детали, выполненные из полимерных композиционных материалов (ПКМ), а применение на их поверхности вибропоглощающих покрытий приводит к значительному повышению массы конструкции. Достижения в области науки о полимерах позволяют применить для снижения вибрации таких систем комбинированные полимерные материалы, представляющие собой полимерные композиционные материалы с вибропоглощающими слоями. Однако сведений о структуре таких материалов и принципов их создания в литературе чрезвычайно мало, да и носят они эпизодический характер, что не позволяет разработать научно-обоснованный подход к их разработке. Поэтому работа Сагомоновой В.А., в которой формулированы общие закономерности разработки слоистых полимерных композиционных материалов с интегрированным вибропоглощающим слоем и слоистых вибропоглощающих материалов на основе термоэластопластов и органических волокон, чрезвычайно актуальна.

Структура и содержание

Диссертационная работа Сагомоновой В.А. построена по традиционной схеме и состоит из введения, литературного обзора (глава 1), описания объектов и методов исследования (глава 2), результатов экспериментов и их обсуждения (глава 3), выводов, списка использованной литературы из 86 на-

именований. Общий объем диссертации составляет 154 страницы машинописного текста, включая 33 рисунка и 72 таблицы.

Во введении сформулированы цель и задачи работы, обоснована ее актуальность, научная новизна и практическая значимость, представлены основные достигнутые результаты и положения, выносимые на защиту.

В литературном обзоре (первая глава) изучен современный ассортимент полимерных вибропоглощающих материалов (ВПМ), в том числе для применения в авиационной технике. Описаны подходы и варианты структурно-химического модифицирования полимеров для создания вибропоглощающих материалов (сополимеризация, взаимопроникающие сетки, использование наполнителей). Рассмотрены явления, происходящие на молекулярном уровне в полимерах, обеспечивающие эффективную диссипацию внешней вибрационной энергии, и определены основные характеристики (коэффициент механических потерь, комплексный модуль упругости и его компоненты) для количественной оценки демпфирующих свойств полимерных материалов. Описаны различные виды шума в кабине и салоне самолета, их источники, способы распространения и борьбы с ними, негативное воздействие на человека. Особое внимание уделено способам повышения вибропоглощающих свойств ПКМ. Показана актуальность данного направления в общемировой практике, приведены примеры изготовления из них различных элементов конструкции авиационной техники.

Во второй главе приведена информация об исходных материалах для изготовления слоистых ВПМ и ПКМ с интегрированным вибропоглощающим слоем, их структура, описано оборудование и методики их исследования, в том числе в составе сложных технических систем. В качестве базовых вибропоглощающих слоев автором выбраны композиции на основе полиуретанового термоэластопласта и винилацетата. В качестве армирующих наполнителей был изучен широкий спектр материалов - стеклянные и органические ткани различных марок, использовались монослой угле- и стеклопластиков, алюминиевая фольга и листовой алюминиевый сплав Д16-АТ, в том числе с различной степенью перфорации.

Все выбранные автором объекты и методы исследования в полном объеме соответствуют современным тенденциям в области вибропоглощающих материалов и заявленным цели и задачам диссертационной работы.

Третья глава состоит из девяти подразделов и посвящена выбору вибропоглощающего и армирующего слоев, исследованию влияния температуры стеклования полимерных материалов на коэффициент механических потерь слоистых ВПМ на их основе, что дает возможность направленного регулирования свойств демпфирующих материалов. Согласно представленным результатам, выбор в качестве базового вибропоглощающего слоя для внедре-

ния в структуру ПКМ пленки из композиции на основе термоэластопластов представляется обоснованным.

Автором описано влияние состава и толщины металлического армирующего слоя, а также степени его перфорации на комплекс свойств слоистых ВПМ, исследованы зависимости коэффициента механических потерь от состава связующего и наполнителя, направления его выкладки для композиционного армирующего слоя, проведен сравнительный анализ металлического и композиционного армирующих слоев, обоснован выбор структуры армированных ВПМ. По результатам исследований в качестве наиболее перспективной предложена конструкция армированного вибропоглощающего полимерного материала типа «сэндвич».

Автором проведена оценка различных способов соединения слоев между собой для получения слоистого ВПМ, показаны преимущества и недостатки указанных технологий, выбраны оптимальные режимы прессования разрабатываемых ВПМ.

Подтверждены выводы о зависимости комплекса свойств слоистых ВПМ от природы, свойств исходных слоев, структуры и технологии изготовления. На основе полученных данных автором сформулированы основные принципы создания слоистых ВПМ и разработаны составы и технологии изготовления термостойкого слоистого ВПМ и ПКМ с интегрированным вибропоглощающим слоем. В разделе 3.9 продемонстрировано внедрение разработанных вибропоглощающих материалов в изделия.

Выводы по работе соответствуют целям и задачам работы, а также достигнутым результатам исследования.

Научная новизна диссертации заключается в формулировании общих закономерностей разработки слоистых полимерных композиционных материалов с интегрированным вибропоглощающим слоем и слоистых вибропоглощающих материалов на основе термоэластопластов и органических волокон посредством целенаправленного регулирования комплекса их вибропоглощающих, физических и механических свойств при помощи рецептурно-технологических факторов:

- Предложено использование полимерных материалов с определенной температурой стеклования и определены диапазоны $T_{ст.}$, обеспечивающие наибольшую эффективность поглощения вибрационной энергии;
- Установлена оптимальная схема армирования конструктивных слоев армированных вибропоглощающих материалов;
- Рекомендован и обоснован метод ДМА в условиях трехточечного изгиба как наиболее соответствующий условиям работы ВПМ в конструкции, а

коэффициент механических потерь – в качестве основного показателя, характеризующего способность к вибропоглощению полимерных материалов;

- Изучено влияние и определены научно-обоснованные подходы к регулированию свойств слоистых полимерных вибропоглощающих материалов, заключающиеся в создании алгоритма комбинирования или сочетания различных по составу и структуре конструкционных и функциональных слоев.

Достоверность полученных результатов исследования подтверждается использованием стандартизованных методов испытаний, метрологически аттестованного, поверенного современного оборудования, всесторонними исследованиями большого количества образцов и статистической обработкой значительного объема экспериментальных данных. Результаты исследования вибропоглощающих свойств слоистых ВПМ различного состава, приведенные в диссертации, не противоречат данным, опубликованным в открытой печати.

Практическая значимость работы заключается в разработке автором составов и технологий изготовления полимерного композиционного материала с интегрированным вибропоглощающим слоем марки ВТП-1ВД с повышенным коэффициентом механических потерь $\text{tg}\delta \geq 0,05$ в диапазоне частот 100-500 Гц и листового слоистого вибропоглощающего материала марки ВТП-3В на основе термостойких полимерных волокон и термопластичного связующего с пониженной поверхностной плотностью в сравнении с аналогами.

Интеграция вибропоглощающего слоя в структуру ПКМ обеспечила повышение его вибропоглощающих свойств, что позволит изготавливать не несущие нагрузки элементы конструкции непосредственно из разработанного материала. Это позволит снизить затраты из-за отсутствия вибропоглощающих покрытий, повысить экономичность и технологичность изготовления конструкций за счет исключения стадии приклеивания вибропоглощающего покрытия с помощью клея.

Автором предложены технологии изготовления слоистых вибропоглощающих материалов и применения их в конструкциях. Новизна технического решения, разработанного при участии Сагомоновой В.А., защищена патентом РФ 2687938 «Полимерный композиционный материал с интегрированным вибропоглощающим слоем».

Разработанный материал марки ВТП-3В принят для применения в конструкции изделия АО «Компания «Сухой». Как показали проведенные ФГУП «ЦАГИ» исследования, ПКМ с интегрированным вибропоглощающим слоем

является перспективным для изготовления панелей интерьера самолетов с повышенными вибропоглощающими и звукоизоляционными свойствами.

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 научных публикациях, включая 8 публикаций в изданиях, включенных в перечень ВАК, 2 публикации в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, и 1 патенте.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание и выводы диссертационной работы, а также публикации по ее тематике.

Основные замечания по работе

1. Научная новизна содержит в большой степени практическую значимость работы и касается разработки материалов - полимерного композиционного материала с интегрированным вибропоглощающим слоем и слоистого вибропоглощающего материала на основе термостойких полимерных волокон и термопластичного связующего, а также технологий их изготовления и применения в составе конструкций.
2. В литературном обзоре, к сожалению, отсутствуют ссылки на некоторые фундаментальные монографии, в которых рассматриваются вибродемпфирующие свойства полимеров и физика этого явления, например, на книгу Перепечко И.И. Акустические методы исследования полимеров. - М.: Химия, 1973 - 296 с.
3. В литературном обзоре приведена неверная формула (стр.13) $\operatorname{tg} \delta = \eta = E'' / E' = \delta / \pi$, так как последнее равенство не имеет смысла. Кроме того, указано, что $\operatorname{tg} \delta$ и КМП (коэффициент механических потерь) это одно и то же. Зачем тогда вводить КМП? Но это замечание относится в большей степени к авторам работы, а не к диссертанту.
4. Раздел 1.1, в основном, декларативен.
5. На с. 58 показано, что $\operatorname{tg} \delta$ зависит от толщины испытываемого материала. Это утверждение требует дополнительного пояснения.

Указанные замечания не касаются существа и не снижают высокую оценку диссертационной работы Сагомоновой Валерии Андреевны «Слоистые вибропоглощающие материалы на основе термоэластопластов и органических волокон и технология их изготовления», соответствующей специальности 05.17.06 - Технология и переработка полимеров и композитов и представляющей законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании широкого комплекса проведенных исследований разработаны и научно обоснованы решения и рекомендации по созданию слоистых вибропоглощающих материалов, в том числе ПКМ с интегрированным вибропоглощающим слоем.

По актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа «Слоистые вибропоглощающие материалы на основе термоэластопластов и органических волокон и технология их изготовления» полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, согласно пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., с изменениями по постановлению Правительства Российской Федерации №335 от 21 апреля 2016 г., а ее автор - Сагомонова Валерия Андреевна, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов.

Официальный оппонент

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой химии и технологии переработки эластомеров ФГБОУ ВО "МИРЭА - Российский технологический университет" (институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова), специальность 05.17.06

119571, г. Москва,

проспект Вернадского, 78.

Тел.: 8(495) 246-05-55 (доб. 458)

www.mirea.ru

lyusova@mirea.ru

Подпись Люсовой Людмилы Ромуальдовны заверяю

Л. Люсова
07.12.2021

Люсова Л.Р.

Первый проректор ФГБОУ ВО "МИРЭА - Российский технологический университет" д.т.н., профессор



Н.И. Прокопов
Прокопов Н.И.