

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Туфана Анта**

«Метод проектирования демпфирующих устройств космических аппаратов с учётом динамических процессов по снижению виброактивности»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.13 – «Проектирование, конструкция, производство,
испытания и эксплуатация летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена требованиями целевой аппаратуры к обеспечению высокой точности и надёжности работы космических аппаратов (КА) на околоземных орбитах.

В условиях длительных миссий особую значимость приобретает проблема точного позиционирования КА, что осложняется воздействием внутренних вибраций, возникающих при работе систем с подвижными массами, в частности, двигателей-маховиков.

Существуют технические решения, обеспечивающие минимизацию внутренних вибраций КА. Однако предлагаемые решения не покрывают весь спектр воздействий систем КА на работу целевой аппаратуры.

Поэтому поиск новых технических решений, а также модернизация уже имеющихся разработок демпфирующих устройств и методики их проектирования, способных обеспечить необходимый уровень виброзащиты на борту КА при сохранении высоких эксплуатационных характеристик систем с подвижными массами, что делает выбранную тематику исследования особенно **актуальной**.

Научная новизна работы состоит в том, что автором:

- разработан принципиально новый метод снижения вибрационных воздействий на борту КА, основанный на применении усовершенствованной магнитожидкостной системы виброизоляции;
- предложены оригинальные проектно-конструкторские решения для

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«29» 11 2025.

упругих элементов конструкции системы виброизоляции, включающие применения определённого количества зигзагообразных пружин;

- определены оптимальные конструктивные параметры для зигзагообразных пружин, предусматривающих различные модификации с ослабленными участками круглой и квадратной форм.

Теоретическая значимость работы выражена в разработке нового методического обеспечения снижения вибрационных воздействий от систем с подвижными массами, уникальность которого обеспечивается применением специально созданных упругих элементов – зигзагообразных пружин, которые имеют ослабленные участки в виде круглой и квадратной формы, что позволяет эффективно сводить частоты первых тонов собственных колебаний системы для повышения точности настройки гасителя колебаний.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенное новое техническое решение позволяет существенно снизить негативное влияние силовомоментных воздействий, возникающих в процессе работы систем с подвижными массами. Особенно актуальным это становится при эксплуатации КА, где критически важно обеспечить безотказную работу прецизионной аппаратуры для выполнения целевых задач. Разработанный автором метод и полученные с его помощью результаты использованы в Центре космических технологий и на кафедре 601 «Космические системы и ракетостроение» Московского авиационного института (национального исследовательского университета)), о чем имеются соответствующие акты.

Цель исследования – разработка метода проектирования демпфирующих устройств космических аппаратов с учётом динамических процессов по снижению виброактивности, основанных на проведении комплексных экспериментальных и математических исследований данных устройств.

Тема работы и содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство,

испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, списка сокращений и условных обозначений и одного приложения.

Общий объем диссертации –147страниц, включая 4 таблиц и 84 рисунков и списка литературы, содержащего 170 наименований Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

В введении представлена общая характеристика работы.

Глава 1 посвящена комплексному анализу современных решений, направленных на обеспечение виброзащиты КА. Исследование включает систематизацию и количественную оценку источников и спектров вибрационных возмущений, воздействующих на конструктивные элементы как отечественных, так и зарубежных КА с прецизионной аппаратурой. Значительное внимание в рамках исследования уделено формированию методологической базы для проведения комплексной оценки виброустойчивости демпфирующих устройств. По результатам проведённого аналитического обзора научно-технической литературы и практических исследований демпфирующих устройств с различными вязкоупругими материалами обоснована необходимость соблюдения новых конструктивных решений, направленных на повышение эффективности магнитореологического эффекта в снижении виброактивности на борту КА.

Глава 2 посвящена исследованию проблем виброактивности объекта исследования и анализу методов её устранения. Проведена объективная оценка влияния вибрационных воздействий двигателей-маховиков на функционирование оптико-электронной прецизионной аппаратуры в условиях эксплуатации КА. Особое место в исследовании занимает разработка мер по снижению виброактивности КА на пассивных и начальных участках полёта. В результате проведённых исследований предложены конкретные технические решения: увеличение времени разгрузки для минимизации статического и

динамического дисбалансов двигателей-маховиков, а также усиление демпфирующего момента реактивной струи двигательной установки по каналу тангажа с применением газовых рулей на начальных этапах полёта.

Глава 3 посвящена вопросам разработки усовершенствованной магнитожидкостной системы виброизоляции. Основным элементом разработки стали специально созданные зигзагообразные пружины с новыми конструктивными решениями. Для системы разработан методологический подход к расчёту частот колебаний с учётом теории упругости и особенностей изотропных пластин. Математическое моделирование с использованием ANSYS Workbench подтвердило положительное влияние ослабления зигзагообразных пружин посредством круглых и квадратных отверстий на прочностные и жёсткостные характеристики системы. В результате экспериментальных исследований предложенной системы виброизоляции с полезной нагрузкой делается вывод о рациональности использования принятых конструктивных решений для повышения способности системы существенно улучшить условия работы прецизионной аппаратуры КА.

В заключении приводятся основные результаты диссертационного исследования, которые включают в себя:

- разработку усовершенствованной системы виброизоляции, включающей магнитожидкостный гаситель колебаний и зигзагообразные пружины специальной конфигурации;
- формулировку новых критериев и показателей эффективности работы системы виброизоляции: показатель динамической устойчивости и механизм сведения частот собственных колебаний в трёх взаимно-перпендикулярных осях;
- создание новых проектно-конструкторских решений для упругих элементов системы виброизоляции, включая внедрение круглых и квадратных отверстий;
- проведение экспериментальной верификации разработанной

системы, результаты которой подтвердили значительное снижение уровня возмущающих сил и моментов в широком спектре частот.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечена комплексом научно-обоснованных методов и средств верификации. Методологическая база исследования построена на применении современных методов математического моделирования и системного анализа, подтверждённых фундаментальными положениями теории упругости. Экспериментальная часть исследования выполнена на сертифицированном оборудовании в аккредитованной лаборатории Московского авиационного института «национального исследовательского университета», что гарантирует точность и воспроизводимость полученных данных.

Отдельно следует отметить, что данное диссертационное исследование дополняется новым качеством работы по методам виброзащиты прецизионных космических аппаратов, особенно в части исследования и практического применения магнитожидкостных систем виброизоляции, которые ведутся в организациях Госкорпорации «Роскосмоса», таких как АО «НПО Лавочкина (монография П.П. Телепнев, Д.А. Кузнецов “Методы виброзащиты прецизионных космических аппаратов”, Химки г. 2019), АО «Корпорация «ВНИИЭМ» и др.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В диссертации предложенная система виброизоляции обозначена как «магнитожидкостная», однако данное название, являясь общеупотребительным в литературе, не отражает уникальных особенностей разработанного технического решения и затрудняет понимание её отличий от существующих аналогов. Целесообразно было бы использовать более специфичное и точное название, например, «гибридная система виброизоляции», что позволило бы избежать возможной терминологической неоднозначности;

2. Не понятно, почему на данную систему не подана заявка на патент;
3. В работе отсутствует обоснование выбора геометрических параметров ослабления пластин зигзагообразных пружин (размеров, форм и количества отверстий);
4. В разделе 3.4 диссертации при указании резонансной частоты настроенного магнитожидкостного гасителя колебаний отсутствует описание методики и алгоритма настройки устройства на заданную частоту;
5. В работе не представлено убедительное обоснование выбора стальных упругих изотропных пластин, функционирующих в рамках закона Гука, в качестве виброизолирующего элемента. При этом игнорируется потенциал использования композиционных материалов, которые обладают более высокими прочностными характеристиками и могли бы обеспечить возможность сокращения количества пружин в конструкции, что позволило бы оптимизировать спектр собственных колебаний системы.

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

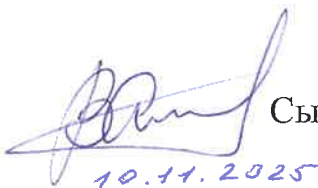
Учитывая вышеизложенное, объем выполненного исследования, основные выводы, научно-практическую значимость и новизну результатов, считаю, что диссертация Туфана Анта «Метод проектирования демпфирующих устройств космических аппаратов с учётом динамических процессов по снижению виброактивности» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу. Диссертация содержит комплекс научно-обоснованных результатов, внедрение которых позволит существенно повысить эффективность снижения виброактивности на борту современных КА, оснащённых прецизионной аппаратурой. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Основные научные результаты диссертации изложены в работах, опубликованных соискателем учёной степени в рецензируемых изданиях ВАК РФ и апробированы на научных конференциях.

Представленная работа полностью соответствует всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК РФ (Постановление Правительства 842 от 24 сентября 2013 г.). Автор диссертационной работы Туфан Ант заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13 – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Главный специалист проектного комплекса

АО «НПО Лавочкина»

доктор технических наук



Сысоев Валентин Константинович

Электронная почта: sysoevvk@laspace.ru, Телефон: 8 (495) 286-00-00 д.9297

Подпись Сысоева Валентина Константиновича заверяю

Заместитель генерального директора

по персоналу и общим вопросам

АО «НПО им. С.А. Лавочкина»



Шолохова И.В.

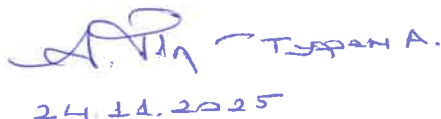
Акционерное общество «Научно производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (НПО им. С.А. Лавочкина)

Почтовый адрес: 141402, МО, г. Химки, Ленинградская ул., д. 24

Электронная почта: npol@laspace.ru

Телефон: +7 (495) 573-35-95

С отзывом ознакомлен



24.11.2025