



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»**

Россия, 125319, Москва, Ленинградский просп., 64.  
Тел. (499) 346-01-68 доб. 12-00, факс (499) 151-89-65. Интернет: <http://www.madi.ru>. E-mail: [info@madi.ru](mailto:info@madi.ru)

Экз. № 1

Утверждаю

Проректор по научной работе

Г.С. Мазлумян

2025 г.



### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Туфана Анта на тему «Метод проектирования демпфирующих устройств космических аппаратов с учётом динамических процессов по снижению виброактивности», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов

Для космических аппаратов (КА) с длительным сроком активного существования ключевое значение имеют системы управления ориентацией и стабилизацией (СУОС). В процессе работы СУОС, в частности двигателей-маховиков, наряду с полезным управляющим моментом, возникают нежелательные вибрации. Они снижают надёжность и негативно влияют на точность работы прецизионной оптико-электронной аппаратуры КА.

Полное устранение этих вибраций невозможно. Снижение их уровня традиционно достигается путём оптимизации конструкции систем с подвижными массами или параметров подконструкций КА. Однако эти подходы требуют сложных расчётов и могут привести к значительному росту стоимости.

Более универсальным и экономически эффективным методом является применение пассивных демпфирующих устройств и систем виброизоляции. В условиях ужесточения требований к точности позиционирования КА и функционированию бортовой аппаратуры, разработка и внедрение новых решений в области виброзащиты на основе современных технологий

ВИДЫХ КОРРЕКЦИОННЫХ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«8» 12 2025 г.

приобретает особую актуальность. Это соответствует стратегическим задачам повышения надёжности и качества ракетно-космической техники, поставленным в документах Госкорпорации «Роскосмос».

Поэтому **актуальность** диссертационных исследований, направленных на решение научной задачи разработки и внедрения дополнительных демпфирующих устройств на основе инновационных технологий для космических аппаратов, очевидна.

Автор вынес на защиту следующие основные **научные результаты**:

- метод снижения виброактивности на борту КА, основанный на применении магнитожидкостной системы виброизоляции;
- проектно-конструкторские решения для упругих элементов конструкции магнитожидкостной системы виброизоляции, включающие использование специально созданных зигзагообразных пружин различной конфигурации;
- модель магнитожидкостной системы виброизоляции с зигзагообразными пружинами с ослабленными участками, выполненными в виде круглых и квадратных отверстий;
- экспериментальная апробация магнитожидкостной системы виброизоляции, направленная на оценку эффективности в снижении возмущающих сил и моментов, возникающих в системах с подвижными массами.

**Научная новизна** исследования заключается в том, что:

разработан метод снижения виброактивности на борту космических аппаратов, основанный на применении магнитожидкостной системы виброизоляции, который позволяет существенно уменьшить амплитуды вибрационных возмущений, передаваемых от систем с подвижными массами на прецизионную аппаратуру в условиях эксплуатации КА;

впервые исследованы и предложены новые проектно-конструкторские решения для упругих элементов в составе рассматриваемой системы – специальные зигзагообразные пружины, применение которых направлено на снижение разницы между частотами первых тонов собственных колебаний, что повышает точность настройки магнитожидкостного гасителя колебаний на заданную частоту и обеспечивает более эффективное виброгашение, целесообразность применения данных пружин в конструкции подтверждена результатами проведённых математических исследований;

определены рациональные физико-геометрические параметры для разработанных зигзагообразных пружин, включая варианты с ослабленными участками в виде круглых и квадратных отверстий, а также без них, установлены

конфигурации, позволяющие свести частоты первых тонов собственных колебаний магнитожидкостной системы виброизоляции с одновременным выполнением требований к напряжённо-деформированному состоянию упругих элементов.

**Теоретическая значимость** работы заключается в разработке нового аналитического метода снижения виброактивности бортовой аппаратуры КА, основанного на сведении частот первых тонов собственных колебаний в магнитожидкостной системе виброизоляции, использующей в качестве упругих элементов специальные зигзагообразные пружины с ослабленными участками (круглыми и квадратными отверстиями). Полученные результаты формируют теоретическую основу для дальнейших исследований в области виброзащиты и могут служить базой для создания методик проектирования перспективных демпфирующих устройств.

**Практическая значимость** работы заключается в получении результатов анализа методов снижения виброактивности, возможности применения предложенной магнитожидкостной системы виброизоляции с зигзагообразными пружинами с отверстиями круглой и квадратной формы для снижения силомоментных воздействий от систем с подвижными массами, влияющих на работу прецизионной оптико-электронной аппаратуры во время эксплуатации КА.

Решения, реализованные при проектировании зигзагообразных пружин с круглыми и квадратными отверстиями (на всех или двух пластинах), позволили установить существенное влияние конфигурации отверстий и количества пружин на прочностные и частотные характеристики.

Наилучшие результаты показала рациональная конфигурация с двумя отверстиями, которая позволила повысить прочность конструкции на 2,7...11,3% (в зависимости от формы и размера отверстий), а также снизить разность частот первых тонов собственных колебаний по трём осям на 0,5...5,45%, что облегчает настройку системы на требуемую частоту гашения колебаний и адаптацию к динамике систем с подвижными массами.

Экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность разработанной магнитожидкостной системы виброизоляции с зигзагообразными пружинами, ослабленными двумя круглыми отверстиями диаметром  $6,5 \cdot 10^{-3}$  м. Её эффективность превосходит аналоги на 15-30%. При частоте гашения  $4,3 \text{ с}^{-1}$  в системе с двигателем-маховиком типа «ДМ14-120» зафиксировано значительное снижение вибрационного воздействия на прецизионную аппаратуру (расхождение с расчётными данными составило ~5%). В диапазоне

частот до  $50,0 \text{ с}^{-1}$  возмущающие силы снижены в 5,4 раза, моменты – в 5,8 раза. В диапазоне частот от  $50,0$  до  $90,0 \text{ с}^{-1}$  силы и моменты снижены примерно в 8 раз, что подтверждает эффективность системы как в низко-, так и в высокочастотной области.

**Достоверность** полученных результатов и заключений подтверждается конкретной формулировкой основных положений проведённых исследований, использованием формализованных описаний и применением фундаментальных методов анализа в сочетании с экспертными оценками. Экспериментальные исследования проведены в лаборатории исследований конструкционной прочности материалов института № 6 «Аэрокосмический» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) на электродинамической испытательной установке трехосевой одновременной вибрации TS-2000-4Н производства IMV Corporation.

Новые научные результаты, выводы и рекомендации диссертационной работы соискателя Туфана Анта являются обоснованными. Выводы и положения, разработанные в рамках диссертационной работы, основаны на научных результатах проведенных в рамках диссертации исследований и являются их прямым следствием.

Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК России, правильно и достаточно полно передает основное содержание диссертации. Материал изложен технически грамотным языком, что показывает высокую компетентность автора в рассматриваемой области. Стиль изложения представленного материала способствует пониманию основных идей и выводов диссертации.

Вместе с тем, следует отметить **ряд недостатков:**

1. В автореферате отсутствует информация о методах и средствах снижения виброактивности на активных участках полёта.

2. Имеются небрежности в оформлении автореферата. Например, в некоторых местах проставлены точки вместо запятых в перечислении пунктов.

3. В тексте автореферата на странице 5, в разделе, описывающем теоретическую значимость работы, следовало бы заменить выражение «аналитический подход к снижению виброактивности...» на «аналитический метод снижения виброактивности...».

Указанные недостатки не снижают уровень научной новизны диссертации, ее теоретической и практической значимости, степени реализации научных результатов и не влияют на общую положительную оценку выполненной диссертационной работы.

## Вывод

Диссертационная работа Туфана Анта является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение актуальной научной задачи, заключающейся в разработке и внедрении дополнительных демпфирующих устройств на основе инновационных технологий для космических аппаратов, имеющей существенное значение для обеспечения развития космической инфраструктуры Российской Федерации, а также для развития теоретических основ эксплуатации и контроля летательных аппаратов.

По уровню научной новизны, практической значимости и степени реализации научных результатов диссертация полностью отвечает критериям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертационной работы, Туфан Ант, достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Транспортные установки», протокол от «27» ноября 2025 г. № 5.

**Катаржин Александр Владимирович**

доктор технических наук, специальность 05.07.06

«Наземные комплексы, стартовое оборудование,

эксплуатация летательных аппаратов»,

врио заведующего кафедрой

«Транспортные установки» МАДИ

8 (499) 155-01-45

«27» ноября 2025 г.