

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Сердаковой Валерии Владимировны
на тему: «Исследование движения малого космического аппарата с учётом вызванных температурным ударом возмущений», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности

1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин (технические науки)

Диссертационная работа Сердаковой Валерии Владимировны «Исследование движения малого космического аппарата с учетом вызванных температурным ударом возмущений» посвящена разработке теоретических подходов и вычислительного аппарата для оценки влияния температурного удара панелей солнечных батарей на динамику малых космических аппаратов. В работе предложены и обоснованы новые подходы к моделированию процессов теплопроводности и термоупругости в тонких пластинах, построены аналитико-приближенные решения для полей температур и компонентов вектора перемещений, разработан метод учета возмущений от температурного удара при моделировании движения малого космического аппарата, а также создана система управления угловым движением на основе комплекса двигателей-маховиков. Разработаны программные решения, реализующие предложенные алгоритмы и позволяющие проводить вычислительные эксперименты с использованием современных пакетов прикладных программ.

Актуальность темы диссертационного исследования

В настоящее время малые космические аппараты играют всё более важную роль в решении задач дистанционного зондирования Земли, технологических экспериментов и исследований космического пространства. Однако качество выполнения целевых задач малых космических аппаратов существенно снижается под влиянием различных возмущающих факторов, среди которых особое место занимает температурный удар упругих элементов конструкции, прежде всего панелей солнечных батарей, возникающий при выходе аппарата из тени Земли.

Особую проблему представляет учет быстропеременных температурных деформаций, которые приводят к возникновению значительных микроускорений, нарушению точности ориентации и ухудшению динамических характеристик малого космического аппарата. Активное развитие перспективных конструкций панелей солнечных батарей, таких как ROSA, сопровождается увеличением их гибкости и снижением массы, что усиливает влияние температурного удара на динамику аппарата. В этой связи особую актуальность приобретают разработка и исследование математических моделей и алгоритмов, позволяющих корректно оценивать влияние температурного удара на движение малого космического аппарата без существенного усложнения вычислительных процедур. Предложенные в работе приближённые аналитические зависимости для полей температур и перемещений точек пластин, а также критерии выбора размерности модели теплопроводности представляют значительный практический интерес для проектирования перспективных малых космических аппаратов.

Кроме того, для малых космических аппаратов технологического назначения, предназначенных для реализации гравитационно-чувствительных процессов, учёт возмущений от температурного удара является необходимым условием обеспечения требуемого уровня микроускорений. Это требует развития адекватных математических моделей и методов управления, учитывающих специфику данного класса возмущений. Таким образом, диссертационная работа, направленная на создание новых математических моделей, методов учета возмущений и систем управления для компенсации влияния температурного удара на динамику малых космических аппаратов, является актуальной и отвечает современным потребностям развития космической техники, динамики полета и прикладной механики.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность

В диссертационной работе представлен системный анализ современных достижений в области математического моделирования динамики малых космических аппаратов с учетом тепловых возмущений. Автором проведено корректное соотнесение собственных результатов с существующими подходами отечественных и зарубежных научных школ в области термоупругости и динамики космических аппаратов, что позволило четко определить вклад диссертанта в развитие методов учёта температурного удара при проектировании МКА.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации В.В. Сердаковой, подтверждается следующим. Все теоретические результаты, связанные с построением математических моделей теплопроводности и термоупругости для тонких пластин, получены на основе аппарата теории теплопроводности и механики деформируемого твердого тела с применением корректных инженерных аппроксимаций и упрощений.

Для начально-краевых задач с граничными условиями третьего рода разработаны методы построения приближенных аналитических решений, исследована их сходимости и области применимости. Для уравнений Софи Жермен с учетом температурных напряжений получены решения, удовлетворяющие заданным граничным условиям.

Достоверность научных результатов гарантируется применением апробированных методов классической механики, теории упругости и теплопередачи, корректным использованием численных методов решения задач теплопроводности и термоупругости, а также всесторонней проверкой вычислительных алгоритмов на основе сравнения с экспериментальными данными. Адекватность моделей и точность приближенных аналитических решений подтверждены результатами многочисленных вычислительных экспериментов в пакете ANSYS, демонстрирующих хорошую сходимость с натурными экспериментами для панелей солнечных батарей типа ROSA.

Внимание уделено проверки адекватности разработанных моделей. Качественное сравнение результатов расчетов с данными натурных экспериментов, проведенных с ПСБ ROSA на МКС и в наземных условиях, подтвердило адекватность предложенных приближенных зависимостей для проведения оценочных расчетов.

Основное содержание диссертации и полученные результаты нашли отражение в 22 научных работах автора, в том числе в 16 статьях в ведущих мировых журналах,

входящих в наукометрические базы Web of Science и Scopus, а также в 8 докладах на международных и всероссийских конференциях. Практическая реализация методов подтверждена 2 свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ и актом внедрения в практику проектирования перспективных МКА АО РКЦ "Прогресс". Результаты работы прошли широкую апробацию и были положительно оценены научным сообществом.

Соответствие диссертации специальности и научная новизна исследований

Диссертационная работа Сердаковой В.В. выполнена в рамках специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин» и полностью соответствует паспорту данной специальности. Основное содержание диссертации соответствует пунктам паспорта специальности. Существенной научной новизной обладают следующие основные результаты, полученные автором.

1 Модель движения малого космического аппарата с учётом возмущений от температурного удара.

2 Метод учёта влияния температурного удара на динамику движения малого космического аппарата.

3 Система управления угловым движением малого космического аппарата на основе комплекса управляющих двигателей-маховиков.

4 Приближенные аналитические зависимости компонентов вектора перемещений точек панелей солнечных батарей малого космического аппарата при температурном ударе в рамках одномерной задачи теплопроводности.

5 Приближенные аналитические зависимости компонентов вектора перемещений точек панелей солнечных батарей малого космического аппарата при температурном ударе в рамках двумерной задачи теплопроводности.

6 Критерии учёта двумерности при описании движения точек панелей солнечных батарей малого космического аппарата, подверженной температурному удару.

7 Результаты численного моделирования возмущающих факторов от температурного удара для симметричной и несимметричной схем компоновки панелей солнечных батарей.

Значимость результатов для науки и практики

Научная значимость диссертационной работы В.В. Сердаковой заключается в развитии теории математического моделирования динамических процессов, составляющих основу метода учёта температурных возмущений при проектировании малых космических аппаратов. Автором предложены математические модели движения точек панелей солнечных батарей в рамках одномерной и двумерной задач теплопроводности; получены приближенные аналитические решения задач термоупругости; представлены вычислительные алгоритмы и их программные реализации, которые позволяют проводить оценку влияния температурного удара на динамику МКА.

Научная значимость работы заключается в существенном развитии математического аппарата и методов теоретической механики применительно к задачам динамики космических аппаратов с упругими элементами. Разработанные модели и

алгоритмы формируют единый методический базис для решения широкого круга задач, связанных с учётом тепловых возмущений при проектировании перспективных МКА.

Теоретическая ценность результатов состоит в построении и обосновании новых классов решений задач теплопроводности и термоупругости, исследовании качественных свойств полей температур и перемещений, и разработке на этой основе эффективных методов оценки возмущающих воздействий.

Практическая значимость работы определяется тем, что предложенные методы и алгоритмы, а также их программная реализация, допускают непосредственное применение при проектировании малых космических аппаратов различного назначения.

– Предложенная система управления угловым движением малого космического аппарата позволяет нивелировать возмущения от температурного удара, что повышает качество выполнения таких задач, как высокоточное дистанционное зондирование Земли из космоса или реализация гравитационно-чувствительных процессов на борту малого космического аппарата.

– Разработанный метод учёта влияния температурного удара на динамику движения малого космического аппарата позволяет проводить практический анализ значимости этого влияния по сравнению с другими возмущающими факторами и разрабатывать законы управления угловым движением малого космического аппарата, снижающие потерю качества от температурного удара при решении целевых задач. Практическая значимость данного результата подтверждена актом внедрения разработанного метода в практику проектирования перспективных малых космических аппаратов АО РКЦ «Прогресс».

На разработанные программные комплексы были получены два патента на программу для ЭВМ. Созданный методический аппарат может быть использован для оценки эффективности, оптимизации и верификации систем управления МКА в реальных условиях эксплуатации. Результаты работы уже нашли применение в научных исследованиях и учебном процессе.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Сердаковой Валерии Владимировны представляет собой законченное, комплексное научное исследование, отличающееся глубиной проработки, теоретической новизной и высоким уровнем практической значимости. Автор демонстрирует уверенное владение аппаратом теоретической механики, теории теплопроводности и термоупругости, что позволяет ей успешно решать актуальные проблемы на стыке динамики космических аппаратов и тепловых процессов.

Особого внимания заслуживает системный подход, продемонстрированный соискателем. В работе не только предложены отдельные новые модели и алгоритмы, но и построена целостная методология учёта влияния температурного удара на динамику малых космических аппаратов, основанная на последовательном анализе задач теплопроводности и термоупругости. Выполненный автором комплексный анализ – от построения приближенных аналитических решений до создания верифицированных программных комплексов – свидетельствует о высокой научной зрелости и самостоятельности исследователя.

Материал диссертации представлен системно, четко прослеживается логическая связь между отдельными главами. Текст работы оформлен в соответствии с действующими стандартами, написан грамотно с использованием общепринятой научной терминологии и системы обозначений.

Тем не менее, по содержанию и оформлению диссертационной работы можно сделать отдельные замечания.

Замечания по оформлению текстовой части и графического материала

1. Можно отметить низкое качество некоторых ключевых иллюстраций (например, рисунок 2.1, 2.6, 2.7 и т.д.). На многих графиках использована иная гарнитура шрифта (по сравнению с основным текстом), отличаются также и размеры.

Замечания по контентной текстовой части

2. Следует отметить методологический недостаток: автор не проводит четкого терминологического разграничения между процессами верификации и валидации математических моделей, используя преимущественно термин "валидация" (валидация и верификация являются важными компонентами проверки адекватности модели). В работе представлен в основном процесс валидации предложенных моделей, что подтверждается их сравнением с данными натурных экспериментов (разделы 3.8, 3.9). Однако процесс верификации численных моделей, реализованных в пакете ANSYS, описан недостаточно. Для подтверждения корректности численных решений рекомендуется дополнить работу результатами тестовых расчетов для задач с известными аналитическими решениями и анализом сходимости на конечно-элементной сетке. В разделе, посвященном валидации моделей, целесообразно было бы представить более детальный количественный анализ погрешностей предложенных приближенных решений.

3. Для практико-ориентированной задачи моделирования явно недостает указания единиц измерения переменных и параметров модели (сразу же, на этапе формализации). Контроль размерностей – важный этап построения математических моделей.

4. Автор активно использует термин «приближенные аналитические решения» (например, (2.49), (3.15), (3.37)). Хотя данный термин является общепринятым, в контексте данной работы его использование требует уточнения. Полученные решения строятся на основе эвристического выбора структуры функций (например, (2.42), (2.50), (3.19)) с последующим определением параметров из граничных условий и согласования с численными расчетами. Такой подход правильнее охарактеризовать как аппроксимацию решений функциями заданного вида (это инженерные аппроксимации, а не решения, полученные, например, методом коллокации или Галеркина с оценкой погрешности.).

5. При реализации математической модели с использованием FEA системы автором указаны типы элементов (SOLID226, SURF152), однако не приведены: критерии выбора сетки (размеры элементов, количество узлов); настройки решателя (метод интегрирования, критерии сходимости); учет нелинейностей (например, радиационных граничных условий). Отсутствует анализ сходимости решений при сгущении сетки, что является стандартной практикой при использовании МКЭ.

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на высокую и положительную оценку научных результатов диссертационной работы.

Общее заключение

В целом можно заключить, что в диссертации Сердаковой Валерии Владимировны «Исследование движения малого космического аппарата с учетом вызванных температурным ударом возмущений» на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения и практические методы, совокупность которых можно квалифицировать как решение научно-квалификационной задачи в области динамики космических аппаратов и разработки подходов к учету тепловых возмущений при проектировании перспективных МКА.

Диссертационная работа Сердаковой В.В. выполнена на актуальную тему, носит законченный характер. Тематика и результаты выполненных научных исследований соответствуют паспорту специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин». Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными, достоверными и имеющими существенное теоретическое и практическое значение. В автореферате и публикациях соискателя в полной мере отражены содержание диссертации, а также наиболее существенные положения, выводы и рекомендации.

Таким образом, представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор диссертации, Сердакова Валерия Владимировна, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин».

Официальный оппонент

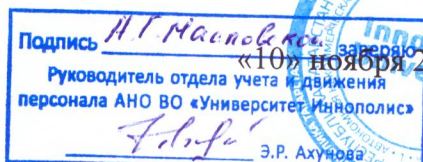
Масловская Анна Геннадьевна

«10» ноября 2025 г.

Масловская Анна Геннадьевна, доктор физико-математических наук, профессор Центра образовательных программ Топ-уровня в сфере искусственного интеллекта Факультета компьютерных и инженерных наук Автономной некоммерческой организации высшего образования «Университет Иннополис».

420500, Республика Татарстан, г. Иннополис ул. Университетская, д. 1, офис 465
Тел. сот.: 8963-816-84-19. E-mail: a.maslovskaya@innopolis.ru

Я, Масловская Анна Геннадьевна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



А.Г. Масловская