

ОТЗЫВ
официального оппонента
о диссертации **Васьковой Варвары Сергеевны**
**«Задачи динамики космического аппарата с солнечным парусом при
движении вдоль леерной связи»,**
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

В диссертационной работе В.С. Васьковой исследуется механическая система, состоящая из двух связанных между собой гибкой связью массивных гелиоцентрических космических станций и легкого космического аппарата с солнечным парусом, способного перемещаться вдоль этой связи, реализуемой тросом, длина которого больше расстояния между станциями, не превышающего несколько километров. Основными результатами, выносимыми на защиту, являются алгоритмы управления солнечным парусом, применяя которые можно перемещать космический аппарат между заданными точками границы гибкой связи в плоскости орбиты станций. Постановка задачи является новой, ранее возможность движения вдоль троса под солнечным парусом не изучалась.

Задачи, решаемые в диссертации, являются актуальными с теоретической точки зрения, так как распространяют теорию движения под солнечным парусом на относительные перемещения в рамках рукотворной космической формации. В то же время эти задачи представляются актуальными и для космической практики, так как предлагают способ перемещения грузов между близко расположенными космическими объектами без затрат столь дорогого для миссий в дальнем космосе ресурса, как ракетное топливо, причем за приемлемое время.

Необходимо отметить, что исследование выполняется в рамках сравнительно простой, но адекватной и достаточно точной математической модели, в которой станции рассматриваются как неподвижные в орбитальной системе отсчета, которая фактически принимается инерциальной. Это предположение оправдывается малостью отношения длины троса к радиусу орбиты станций и некоторыми исследованиями другого автора, указывающими на возможность компенсации влияния движения аппарата с солнечным парусом на взаимное положение станций. В результате поставленные задачи решаются либо аналитически, либо с использованием численного интегрирования, причем методы численного решения дифференциальных уравнений движения не используются.

В работе приводится большое количество объединенных в таблицы результатов вычислений динамических характеристик перелетов космических аппаратов, параметры которых соответствуют уже реализованным или планирующимся космическим миссиям. При этом оказывается, что перемещение на расстояние порядка нескольких километров занимает, как правило, всего несколько часов, а максимальное натяжение троса измеряется десятками миллиньютонов. Эти результаты указывают на практическую реализуемость разработанных алгоритмов и имеют непосредственную практическую значимость.

Диссертация состоит из введения, трех глав основного текста, заключения, списка цитируемых источников и приложений.

Во введении дан достаточно полный обзор литературы, связанной с темой диссертации, обоснована актуальность и значимость проводимых исследований, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе описаны математические модели солнечного паруса и тросовой системы, используемые при разработке алгоритмов из следующих глав. Необходимо отметить оригинальный подход к описанию возможностей солнечного паруса с помощью так называемых «калибровочных характеристик», то есть безразмерных функций, определяющих зависимость ускорения, создаваемого силой солнечной радиации, от угла между ним и направлением солнечных лучей, а также максимально возможную проекцию этой силы на касательную к траектории движения. Также в этой главе сравниваются силы, действующие на космический аппарат с солнечным парусом в орбитальной системе отсчета. Результат этого оценивания позволяет сформулировать модельную задачу о движении этого аппарата вдоль троса, называемого в рецензируемом исследовании «леером» или «леерной связью». В рамках этой задачи предполагается, что космические станции неподвижны в орбитальной системе отсчета, что движение аппарата в плоскости орбиты станций определяется только силой солнечной радиации, так как сила притяжения Солнца практически полностью компенсируется переносной силой инерции, а кориолисова сила инерции достаточно мала и оказывает некоторое, в целом незначительное, влияние только на натяжение троса. Далее выписывается основной инструмент дальнейших исследований – теорема об изменении кинетической энергии космического аппарата.

Во второй главе описывается движение космического аппарата с постоянно ориентированным солнечным парусом вдоль дуг эллипса, ограничивающего область возможных движений космического аппарата в

орбитальной системе отсчета. Строится множество дуг, вдоль которых такие движения возможны. Для этого выводятся и доказываются необходимые и достаточные условия, гарантирующие натянутость троса во время перелета. Определяются, в основном аналитически, динамические характеристики движения. В качестве важного частного случая изучается движение между наиболее удаленными вершинами эллипса, вычисляется его оптимальный по быстродействию эксцентриситет.

В третьей главе также изучаются движения вдоль дуг того же эллипса, но целью является сокращение продолжительности перемещения. Если такой перелет начинается и заканчивается с нулевой относительной скоростью, предлагается разбить дугу на два участка, разделяемых «точкой переключения». Солнечный парус предлагается располагать так, чтобы сила солнечной радиации создавала максимально возможное касательное ускорение, направленное на первом участке по движению, а на втором – в противоположную сторону. По существу, используется введенная в первой главе «производная калибровочная характеристика», хотя явно об этом не говорится. Описанный далее алгоритм определения положения точки переключения и других динамических характеристик движения использует в основном методы численного интегрирования, например, метод Симпсона, применяется также и сравнительно оригинальная процедура вычисления продолжительности перелетов. Также, как в предыдущей главе, подробно разбирается случай перелета между наиболее удаленными вершинами границы леерной связи, определяется оптимальный по быстродействию эксцентриситет, в том числе и для случая, когда конечная относительная скорость не равна нулю, а аппарат ускоряется на протяжении всего перелета.

В заключении формулируются основные результаты диссертации и намечаются некоторые пути их развития.

В приложениях приводятся скриншоты результаты визуализации работы специально разработанного программного обеспечения, реализующего построенные во второй и третьей главах алгоритмы, а также краткая инструкция по использованию этого программного обеспечения.

Основные результаты диссертации опубликованы в пяти работах в рецензируемых изданиях, входящих в список ВАК или международные системы цитирования Scopus и Web of Science. Также следует отметить, что все результаты диссертационной работы В.С. Васьковой прошли достаточную апробацию на различных всероссийских и международных конференциях, а также на научных семинарах.

Автореферат диссертации полно и точно отражает все результаты, представленные в диссертации.

По своей тематике диссертация Васьковой Варвары Сергеевны полностью соответствует научной специальности 1.1.7 «Теоретическая механика, динамика машин».

К диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. В тексте работы встречаются шероховатости стиля изложения, орфографические и пунктуационные ошибки. Во всей диссертации текст, идущий после вынесенной в отдельную строку формулы, начинается с красной строки, хотя это продолжение предложения.

2. На рисунках не указано направление солнечных лучей, что затрудняет их восприятие. Для лучшего понимания постановки задачи надо было бы изобразить рассматриваемую конструкцию вместе с Солнцем. Кроме того, на рис. 1.3 касательный к эллипсу вектор обозначен символом τ , а на рисунках 1.4, 1.5 этот вектор обозначен символом \mathbf{u} . При этом на стр. 40 символом \mathbf{u} обозначается внешняя нормаль к эллипсу.

3. В тексте диссертации имеются опечатки. Например, на стр. 15 единичный базис обозначен $\mathbf{e} = (e_x, e_y, e_z)^T$, а должно быть $\mathbf{e} = (\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z)$; в формуле (1.5) выражение в знаменателе должно быть под знаком корня; в формуле (1.8) при $\operatorname{tg}^2 \alpha$ должен быть коэффициент противоположного знака; в формуле (1.9) лишний множитель $\sin \psi$ в числителе; в формуле (1.13) должно быть $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$.

4. При выводе условий для оптимального угла наклона следовало подробнее представить вывод уравнений, а не ограничиваться уравнением (1.6) полученным после деления на $(1 - k) \cos \psi \cos^3 \alpha$, так как разбор частных случаев $\psi = \pi/2, k = 1$ становится некорректным.

5. Программное обеспечение, реализующее разработанные алгоритмы, жестко привязано к среде Maple, и только некоторые его элементы реализованы также в среде MatLab. Это сужает рамки его возможного использования. Содержащаяся инструкция по работе с графическими приложениями является слишком краткой.

6. В работе упомянуты ситуации, когда учет силы Кориолиса существенен (стр. 34), причем указан способ компенсации ее влияния. Однако, исчерпывающий анализ этих ситуаций отсутствует.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Проведенное в диссертации исследование демонстрирует высокую квалификацию Васьковой Варвары Сергеевны как специалиста по космической динамике и теоретической механике в целом. Достоверность и научная новизна результатов, полученных в диссертации, не вызывают сомнений. Работа носит законченный характер и выполнена на высоком научном уровне.

Диссертация В.С.Васьковой отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Васькова Варвара Сергеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 «Теоретическая механика, динамика машин».

Заведующий кафедрой высшей математики
Института искусственного интеллекта
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения
«МИРЭА – Российского технологического
университета» (РТУ МИРЭА),
д.ф.-м.н., доцент _____

А.В. Шатина

Шатина Альбина Викторовна

119454, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78.
Тел.: +7 (499)600-80-80 (добавочный 20206),
e-mail: shatina@mirea.ru

Подпись руки

Шатиной А.В.

УДОСТОВЕРЯЮ:

Начальник Управления кадров

М.М. Буханова



С отзывом ознакомлена 04.05.2026 *В* - Васильева В.С.