

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Васьковой Варвары Сергеевны
«Задачи динамики космического аппарата с солнечным парусом
при движении вдоль леерной связи»,
представленной на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин»

Актуальность и научная новизна диссертационного исследования

В диссертационной работе Варвары Сергеевны Васьковой решается задача об относительном движении элементов космической системы, образованной двумя орбитальными станциями, соединёнными тросом, и оснащённым солнечным парусом космическим аппаратом (КА), который может перемещаться вдоль этого троса. Предполагается, что космические станции совершают движение по общей круговой гелиоцентрической орбите, а длина троса превышает расстояние между ними. Введённая таким образом неударживающая связь задаёт область, в которой осуществляется относительное движение. При этом парус является единственным элементом, оказывающим существенное влияние на такое движение КА.

Рассматриваемая задача нова по своей механической постановке. Решение связанного с ней круга проблем представляется актуальным прежде всего с теоретической точки зрения: оно вносит свой вклад в общую теорию относительных движений элементов больших космических систем. С точки зрения возможных практических приложений применение такого рода систем может быть связано с перемещением грузов при решении задач космического монтажа, не требующим затрат энергии.

В отличие от привычной, «традиционной», хорошо изученной задачи о движении под солнечным парусом на большие «межпланетные» расстояния, в настоящей работе речь идёт о небольших, порядка нескольких километров, перелётах. Выполненная в диссертации работа является, вероятно, первым систематическим исследованием, в котором солнечный парус предлагается использовать для решения такого сорта задач. Примечательно, что такая объективно малая сила, как сила, порождённая солнечной радиацией, позволяет решить задачи, связанные с перемещениями грузов за небольшие промежутки времени, измеряемые часами, при том как натяжение троса измеряется лишь десятками миллиньютонов.

Структура и содержание диссертационного исследования

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав основного текста, заключения, списка литературы, насчитывающего 118

наименований, и двух приложений. Диссертация изложена на 96 страницах машинописного текста.

Во введении даётся обзор литературы, определяющей место данного исследования в общем круге задач механики космического полёта, кратко изложено содержание основных результатов диссертации, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе вводятся основные понятия, используемые в других главах. В частности, в ней прежде всего описаны математические модели солнечного паруса и тросовой связи. Используемая математическая модель солнечного паруса не нова и считается универсальной. Она достаточно полно «ухватывает» основные факторы, являющиеся существенными при непродолжительном использовании паруса. Вводятся функции, характеризующие возможности солнечного паруса при свободном движении и при перемещении вдоль заданной траектории. Использование таких функций можно рассматривать как новый и достаточно интересный подход к обсуждаемому классу задач. Осуществляется оценка сил, действующих на космический аппарат. Такая оценка позволяет заложить основание для построения математической модели, в рамках которой используется неинерциальная орбитальная система отсчета (ОСО). В этой ОСО станции предполагаются неподвижными, а основной силой, оказывающей влияние на движение КА, оказывается солнечная радиация.

Во второй главе предлагается алгоритм перемещения космического аппарата вдоль леерной связи в случае постоянно ориентированного по отношению к Солнцу солнечного паруса. В этом случае реализуются маятниковые колебания КА вдоль дуги эллипса, ограничивающего движение КА в плоскости орбиты станций. Описано множество пар точек в ОСО, между которыми возможно перемещение в области, ограниченной связью, с учётом её возможного ослабления. Условия натянутости троса представлены неравенствами с достаточно наглядным геометрическим смыслом. Эффективность предложенного алгоритма подкрепляется тем обстоятельством, что почти все динамические характеристики движения в рамках такой постановки задачи вычисляются аналитически.

В третьей главе предлагается алгоритм перемещения КА между двумя точками границы леерной связи, решающий задачу минимальной продолжительности перелёта. В рамках алгоритма движение организовывается так, что сначала солнечный парус обеспечивает максимально возможное касательное ускорение, направленное в сторону перемещения, а потом, после некоторой «точки переключения», – такое же ускорение, но направленное в противоположную сторону. Естественное предположение о том, что такой способ, обеспечивающий более быстрый перелёт в сравнении с его аналогом при постоянно ориентированном парусе, оптимален по быстродействию, в работе не обсуждается. Для выбора положения паруса в каждый момент времени фактически используется

введённая автором в первой главе «производная калибровочная характеристика». Точка переключения определяется так, чтобы движение начиналось и заканчивалось с нулевой скоростью. Отдельно рассматривается возможность, когда конечная скорость не является нулевой. Кроме того, как и во второй главе, изучается перемещение между наиболее отдалёнными точками границы леерной связи: для него устанавливается оптимальное по быстрдействию отношение расстояния между станциями к длине троса. Результаты третьей главы получены преимущественно при помощи методов численного интегрирования.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы и намечены некоторые пути для их развития.

В приложениях сосредоточены иллюстрации результатов реализации алгоритмов, описанных во второй и третьей главах. Для такого иллюстрирования разработано специальное программное обеспечение. Там же вниманию читателей предлагается краткая инструкция по его эксплуатации.

Степень обоснованности и достоверности результатов

Все выносимые на защиту положения, научные результаты и выводы диссертации являются в достаточной степени обоснованными и достоверными. Это обеспечивается применением классических и современных методов теоретической механики, механики космического полёта, а также численных методов.

Отдельно заметим, что разработанные автором подходы обчислены на примерах уже реализуемых или планируемых космических миссий. Соответствующие результаты собраны в таблицы, расположенные, например, на страницах 57, 59, 75, 77. Как можно видеть из таких примеров, во всех случаях перемещение на расстояние в несколько километров, как правило, занимает несколько часов. При этом натяжение троса, вдоль которого движется КА массой порядка 100 кг, составляет десятки миллиньютонов. Этот факт указывает на то, что полученные в диссертации результаты, кроме очевидного теоретического, имеют непосредственное практическое значение при планировании миссий в дальнем космосе, предусматривающих перегруппировку больших космических систем.

В тексте самой диссертации все результаты научно обоснованы, а также достаточно полно опубликованы. Основные результаты диссертационного исследования содержатся в 5 статьях, 2 из которых опубликованы в журналах, индексируемых международными базами цитирования Scopus и Web of Science, а 3 – в журналах, входящих в список ВАК. Все результаты диссертационной работы В.С. Васьковой достаточно полно апробированы: эти результаты докладывались ею на ряде международных и всероссийских конференций, а также на научных семинарах.

Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации и её главные результаты.

Тематика диссертационного исследования, выполненного Варварой Сергеевной Васьковой, полностью соответствует паспорту научной специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин», в частности, таким пунктам направлений исследований, как 5, 9, 10 и 14.

Замечания по диссертационному исследованию

Вместе с тем по диссертации имеются некоторые замечания:

1. «Производная калибровочная характеристика» определяется как «зависимость максимума проекции силы солнечной радиации на заданное направление от угла между этим направлением и линией действия солнечных лучей» (стр. 24). Схожую функцию выполняет угол α_{opt} , определяемый корнем уравнения (1.6) на стр. 19. Данные динамические характеристики связаны между собой, однако это никак не отражено в тексте диссертации.
2. В диссертации отмечено, что кориолисова сила, несмотря на свою малость, в редких случаях может приводить к ослабеванию троса. В тексте указан способ устранения этой ситуации, но конкретные расчеты не приводятся.
3. В тексте содержится достаточно много примеров расчета динамических характеристик перелётов аппарата с солнечным парусом вдоль леерной связи, но не приводятся явные зависимости значений этих характеристик друг от друга, например, силы натяжения троса от его длины, продолжительности перемещения от парусности космического аппарата и т.п.
4. Описание программного обеспечения, реализующего описанные алгоритмы, является слишком кратким для его эффективного использования другими исследователями.
5. В тексте присутствуют некоторые шероховатости стиля изложения и опечатки в падежах (см., например, стр. 12-13).

Все вышеуказанные замечания не снижают высокой научной и практической ценности, а также общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение

Рассмотренная диссертационная работа «Задачи динамики космического аппарата с солнечным парусом при движении вдоль леерной связи» является законченным научным исследованием, в котором сформулирована новая задача космической механики, а также получены новые и важные результаты, относящиеся к её решению. Текст диссертационной работы написан хорошим научным языком.

Считаю, что диссертация выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет требованиям (в том числе, п. 9) «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Васькова Варвара Сергеевна, несомненно, заслуживает присуждения ей искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин».

Официальный оппонент:

ведущий научный сотрудник

отдела № 24 механики ФИЦ ИУ РАН,

кандидат физико-математических наук

по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика»,

доцент

по специальности 1.1.7 Теоретическая механика, динамика машин,

Никонов Василий Иванович

тел.: +7 (499) 135-01-52,

e-mail: vnikonov@frccsc.ru,

почтовый адрес: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 40.

/ В.И. Никонов /

Отзыв составлен: «30» апреля 2026г.

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН)», 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, телефон: +7 (499) 135-62-60, адрес электронной почты: frccsc@frccsc.ru.



С отзывом ознакомлена 04.05.2026 В.В. Васькова В.С.