

Утверждаю

И.о. директора ИКИ РАН

Петрукович А.А.



18.03.2024

## ОТЗЫВ

### Ведущей организации Институт Космических Исследований РАН

на диссертационную работу **Сергаевой Е.А.**

«Программы управления космическим аппаратом с электроракетной двигательной установкой для исследования малых тел солнечной системы»  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 2.5.16.

«Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Подготовленная Сергаевой Елизаветой Андреевной диссертация посвящена решению задач динамики полета космических аппаратов с применением электроракетных двигателей. Востребованность технологий, которые позволяют выполнять соответствующие космические проекты со стороны разработчиков космических миссий, неуклонно возрастает. При этом в части проблем управления полетом наблюдается заметное усложнение задач, что, с одной стороны, обеспечивается переходом на цифровые технологии, с другой стороны, требует разработки новых алгоритмов и математического обеспечения. Работа Сергаевой Е.А. является наглядным примером упомянутого роста сложности задач динамики космического полета. Это связано с расширением состава целевых объектов и сценариев миссий к этим объектам. Причем речь здесь идет не только об исследованиях и разработках, но и о практическом применении результатов. Если до последнего времени речь шла о реализации орбитальных переходов на требуемые околоземные орбиты и последующим управлением их движением с применением электроракетных двигателей, (здесь как пример можно указать на международный проект OneWeb с ключевым участием Роскосмоса), то

Входящий № 205-1829  
Дата 25 МАР 2024  
Самарский университет

сейчас можно говорить об операциях в окрестности других тел солнечной системы. Безусловно, решение такого уровня задач требует достаточно глубокой проработки той части проблемы, которая относится к динамике, баллистике и управлению движением космических аппаратов. Здесь следует подчеркнуть, что использование именно электроракетных двигателей существенно повышает сложность решения проблемы в указанной области. Как пример, укажем американскую миссию DAWN, которая была успешно реализована, совершив полет к малым планетам Церера и Веста, с выходом на орбиты их спутников за счет применения электроракетных двигателей.

В работе Сергаевой Е.А. решается еще более сложная задача не только перелета с помощью электроракетных двигателей в окрестность астероидов и комет, но и задача их удержания в этой окрестности с целью проведения необходимых научных исследований вблизи поверхности этих объектов.

Сказанное выше указывает, прежде всего, на **актуальность** поставленных диссертантом задач. Одновременно в диссертации дается общая картина достижений в этой области.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения и списка литературы, включающего 100 наименований. Работа содержит 131 страницу, 69 рисунков и 14 таблиц. Список литературы по обозначенным задачам указывает на глубокую достаточную погруженность диссертанта в тему, что позволяет, с одной стороны, в значительной мере использовать уже полученные результаты, с другой стороны, определить круг задач, решение которых наиболее значимо.

**Оценка содержания диссертационной работы.** Автор большое внимание уделяет вопросам постановки задач и выбору наиболее эффективных методов их решения. Отметим, что применяемые в настоящее время подходы для проектирования миссий к объектам солнечной системы в значительной мере определяются тем, что это притягивающие тела с формой, близкой к сферической, если стоит задача выведения космического аппарата на траекторию посадки или выхода на орбиту спутника объекта.

В решаемой автором задаче предполагается, что объект исследований имеет форму, сильно отличающуюся от сферической, т.е. «неправильную». В то же время принимается, что полет в окрестности этого объекта происходит в такой близости от него, что аппроксимация объекта как материальной точки не может быть принята как допустимая.

Таким образом, уровень сложности рассматриваемых миссий радикально возрастает. Помимо проблемы оптимизации траектории перелета (автор получает результат, опираясь на использование принципа максимума Понтрягина) решается задача оптимального управления аппаратом для удержания его в окрестности небесного тела неправильной формы на довольно близком расстоянии от последнего.

В своих исследованиях автор в качестве примера использует аппроксимацию притяжения астероида Эрос. На наш взгляд – это удачный выбор как по характеристикам собственно астероида, так и модели аппроксимации тяготения этого тела.

В этих предположениях строится модель для последующего построения движения аппарата с учетом притяжения Солнца.

В диссертации разработана вычислительная процедура, позволяющая справиться с решением шестипараметрической краевой задачи, возникающей на основе применения принципа максимума Понтрягина для оптимизации задачи перелета.

Очень важным с точки зрения выполнения практических вычислений является реализация программного комплекса «Моделирование движения КА с ЭРДУ, предназначенным для исследования малых тел Солнечной системы».

Следует отметить, что исследования и разработки автора представляют собой хорошую базу для планируемых миссий к астероидам, как для их научных исследований, так и для построения системы планетарной защиты на базе использования астероидов-снарядов.

В этой связи можно уверенно утверждать, что работа Сергаевой Е.А. является **актуальной и востребованной**.

Важно то, что даются примеры решения, сопровождаемые необходимыми графическими материалами.

**Научная новизна** работы состоит в том, что предложен метод, программное обеспечение и примеры реализации миссий, в которых решается проблема удержания космического аппарата в окрестности притягивающего тела неправильной формы. При этом были приведены результаты использования разработанных впервые подходов, которые указывают, что расходы рабочего тела на удержание аппарата в окрестности такого тела могут быть

сопоставимы и даже превышать расходы на операции перелета в рассмотренных примерах миссии к астероиду Эрос.

Очень интересным и впервые полученным результатом является сравнение характеристик промоделированной миссии к комете Чурюмова-Герасименко с применением электроракетного двигателя с таковыми для реально выполненной миссии.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается обоснованным применением известных математических моделей и методов, а также сравнением полученных в работе результатов с результатами, опубликованными другими авторами.

**Практическая значимость** заключается в разработке методов и программно-математического обеспечения, которые могут применяться при проектно-баллистическом анализе перспективных космических миссий.

В частности, полученные численные результаты могут быть применены для планирования миссий к астероидам и разработки систем планетарной защиты.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

**В качестве замечания** по диссертационной работе можно отметить, что рассмотренные автором математические модели движения космического аппарата не учитывали возмущающие ускорения, порождаемые давлением солнечного света.

Отмеченный недостаток не снижает общей положительной оценки диссертационной работы.

**Вывод.** Оценивая диссертацию Сергаевой Е.А. в целом, можно заключить, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 2.5.16. «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

В связи с изложенным выше, можно утверждать, что работа соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание научной степени кандидата

