



Государственная корпорация
по космической деятельности «Роскосмос»
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
«ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИМЕНИ М.В.КЕЛДЫША»
(АО ГНЦ «Центр Келдыша»)**

Онежская ул., д. 8, Москва, Россия, 125438
Тел. +7 (495) 456-4608 Факс: +7 (495) 456-8228
ОКПО 47430587 ОГРН 1217700095667 ИНН/КПП 7743355574 / 774301001
kerc@elnet.msk.ru; https://keldysh-space.ru

12.08.2026 № 001.12-12/24
на № 035-10-327.03.237 от 14.07.2026

Об отзыве на диссертацию

В отдел Ученого и диссертационных
советов МАИ
Ученому секретарю
диссертационного совета 24.2.327.03
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)» (МАИ),
доктору технических наук, доценту

Старкову А.В.

Волоколамское ш., д. 4,
г. Москва, 125993

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента на диссертацию Шевченко
Виктории Витальевны «Оптимизация сложных схем межпланетного перелёта КА с
комбинированной двигательной установкой».

Приложение:

Отзыв на диссертацию на 5 листах в 2-х экз.

Ученый секретарь
АО ГНЦ «Центр Келдыша»
кандидат военных наук

Ю.Л. Смирнов

Исполнитель: Синицын А.А.
тел. +7(495)456-93-13 (доб. 5-86)

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«14» 08 2026г.

ОТЗЫВ

официального оппонента А.А. Синицына на диссертацию Шевченко Виктории Витальевны «Оптимизация сложных схем межпланетного перелёта КА с комбинированной двигательной установкой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Диссертационная работа Шевченко В.В. посвящена разработке методического подхода к проектированию траекторий с последовательностью гравитационных маневров и его применению в задаче перелета исследовательского КА с комбинированной двигательной установкой (ДУ) (последовательность работы: жидкостный ракетный двигатель разгонного блока на первом этапе и далее электроракетная двигательная установка - ЭРДУ) на гелиоцентрическую траекторию со значительным наклоном к плоскости эклиптики.

Актуальность выбранной темы диссертационной работы связана с недостаточной разработанностью методов проектирования траекторий межпланетных КА со сложными схемами перелета (с несколькими гравитационными маневрами), включающих в себя работу комбинированной двигательной установкой. Кроме того, следует отметить ограниченность количества научных публикаций на тему оптимизации траекторий с ЭРДУ и гравитационными маневрами.

Содержание диссертационной работы на 153 листах составляет введение, четыре главы, заключение и список источников из 47 наименований.

Во введении приведены формулировки основных признаков диссертационной работы.

Первая глава содержит постановку задачи, описание ряда выполненных проектов исследования Солнца, проекта «Интергелиозонд» и сформулированы требования транспортной задачи рассматриваемого КА для исследования Солнца. Приведены основные характеристики космической транспортной системы (ракеты-носителя и разгонного блока). Сформулированы основные положения, принятые для моделирования траектории перелета. Перечислены отличия постановки задачи в диссертационной работе, от работ других авторов: 1) гиперболический избыток скорости определяется из решения оптимизационной задачи; 2) проводится анализ π -резонансных орбит с орбитой планеты, вокруг которой производится гравитационный маневр; 3) использование условий

трансверсальности на правом конце для фиксированного значения наклона и свободных остальных фазовых переменных.

Во второй главе приводится описание математического аппарата для моделирования отдельных участков перелета. В частности, приводится формулировка условий оптимальности для реализации заданного значения гиперболического избытка скорости разгонным блоком. Далее приведена гелиоцентрическая (в рамках ограниченной задачи двух тел) модель движения КА с определением ориентации вектора тяги и закона включения/выключения ЭРДУ согласно принципу максимума Понтрягина. Изложенная затем модель движения на пассивных участках позволяет (в рамках ограниченной задачи двух тел) рассчитывать фазовые координаты и сопряженные в декартовых координатах (через использование оскулирующих переменных и решение уравнения Кеплера, а также с использованием канонических преобразований), минуя численное интегрирование уравнений движения и сопряженной системы. Также в главе два приведены алгоритмы определения характеристик пассивного перелета с гравитационными маневрами типа планета-планета для угловых дальностей $2\pi k$ и $2\pi(k-1)$, где k – целое число. Приведены краевые условия в точках гравитационного маневра и соответствующие им необходимые условия оптимальности в форме принципа максимума Понтрягина для реализации околорезонансных перелетов, то есть перелетов с угловыми дальностями близкими к $2\pi k$ и $2\pi(k-1)$. Отдельно приводится математическое описание последнего гравитационного маневра, обеспечивающего наклонение орбиты 30° относительно солнечного экватора (реализован переход к гелиоэкваториальной системе координат) и отличающегося из-за этого условиями на правом конце траектории перелета.

Глава три включает в себя постановку задачи сквозной оптимизации траектории перелета КА с комбинированной ДУ на гелиоцентрическую орбиту с наклоном 30° относительно солнечного экватора. Перечислены неизвестные решаемой многоточечной краевой задачи, проанализированы краевые условия на рассматриваемых участках перелета.

Содержание последней, четвертой главы составляет описание численных результатов с применением приведенного выше математического аппарата. Ввиду сложности поставленной многоточечной краевой задачи, ее решение разбивалось на две стадии. Вначале решалась вспомогательная (незамкнутая) краевая задача с упрощениями: движение Венеры считается кеплеровым (без возмущений); движение на участках Венера-Венера

предполагается пассивным. По найденному в результате решения вспомогательной задачи приближенному решению строится точное решение замкнутой краевой задачи с выполнением всех требуемых условий оптимальности. Приведены характеристики двух решений, одно из которых содержит близкий к π -резонансному переход Венера-Венера. При этом достигается сокращение продолжительности суммарного перелета с ~ 5 до $\sim 3,5$ лет.

Среди **новых результатов**, полученных в рамках диссертационной работы, можно отметить:

1) Методический подход к сквозной оптимизации траектории межпланетного КА с комбинированной ДУ с последовательностью гравитационных маневров для формирования гелиоцентрической орбиты со значительным наклоном к плоскости солнечного экватора, базирующийся на использовании необходимых условий оптимальности в форме принципа максимума Понтрягина;

2) Методика решения многоточечной краевой задачи сквозной оптимизации траектории межпланетного КА, заключающейся в формировании вспомогательной незамкнутой краевой задачи с упрощенным (кеплеровым) движением планет, где осуществляются гравитационные маневры, что позволяет получить хорошее начальное приближения для решения основной замкнутой краевой задачи;

3) Рассмотрена возможность перелетов с последовательностью π -резонансных гравитационных маневров и получена такая траектория, продемонстрирована возможность уменьшить продолжительность межпланетного перелета за счет использования π -резонансных гравитационных маневров.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в следующем:

1) в возможности решения с использованием разработанного программно-методического аппарата задач с различными целевыми гелиоцентрическим орбитами;

2) в возможности использования отдельных частей разработанной методики сквозной оптимизации для решения частных задач. Например, решение задачи разгона с использованием разгонного блока в виде аппроксимации может быть использовано отдельно для анализа межпланетных траекторий;

3) в подтверждении возможности существенного сокращения продолжительности перелета на гелиоцентрическую орбиту со значительным наклоном относительно солнечного экватора за счет использования последовательности π -резонансных гравитационных маневров.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается:

- применением надежных, хорошо зарекомендовавших себя, методов оптимизации – принципа максимума Понтрягина;
- применением апробированного численного метода интегрирования обыкновенных систем дифференциальных уравнений – метода Рунге-Кутты-Дормана-Принца 8 порядка;
- строгостью постановки и описания краевой задачи сквозной оптимизации траектории перелета межпланетного КА;
- сопоставлением результатов с опубликованными в научно-технической литературе результатами исследований.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Выводы, сделанные в диссертационной работе, основаны на глубоком анализе рассматриваемых вопросов и подкреплены достаточным объемом проведенных численных расчетов.

Материалы, приводимые в диссертационной работе, опубликованы в двух научно-технических изданиях из списка ВАК, одном издании из базы данных Scopus, а также докладывались на семи российских и международной конференций.

Содержание автореферата отражает основные положения диссертационной работы.

К недостаткам диссертационной работы можно отнести:

1) Литература по темам близким к теме исследования могла бы быть освещена более подробно и заслуживает полноценного обзора. В частности, нет ссылок на публикации с характеристиками ракеты-носителя «Союз-2.1б» и разгонного блока «Фрегат», недостаточно отражены работы зарубежных авторов по задачам типа «Интергелиозонда».

2) Условие (77) на стр. 82 для определения оптимальной даты гравитационного маневра не является полным. Его следует дополнить выражением $P(\psi^- \delta^- - \delta^+ \psi^+)$.

3) Не конкретизировано как используются условия оптимальности гравитационного маневра с выходом/выполнением ограничения на радиус

пролетной гиперболы. С учетом количества гравитационных маневров рассмотрение обоих вариантов условий оптимальности ведет к значительному количеству вариантов перебора.

Вышеприведенные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научно-техническом уровне. Автор продемонстрировала высокую математическую культуру и способность решать сложные оптимизационные задачи проектной баллистики межпланетных КА.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842 "О порядке присуждения ученых степеней", предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Шевченко Виктория Витальевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Ведущий научный сотрудник
АО ГНЦ «Центр Келдыша»
кандидат технических наук

А.А. Синицын

Подпись Синицына А.А. удостоверяю

Ученый секретарь
АО ГНЦ «Центр Келдыша»
кандидат военных наук



Ю.Л. Смирнов

Синицын Алексей Андреевич, 125438, Россия, г. Москва, Онежская ул., д. 8, тел.: +7(495)456-93-13 (доб. 5-86), sinitsin@kerc.msk.ru, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (АО ГНЦ «Центр Келдыша»).

Автор отзыва не возражает против включения своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата наук Шевченко Виктории Витальевны и их дальнейшую обработку в соответствии с требованиями ВАК.

17.08.2025 г. [подпись]
17.08.2025 г. [подпись]