



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИКИ РАН

А.А. Петрукович

12 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Проскурякова Александра Игоревича
**«Задача оптимизации траектории выведения
космического аппарата на целевую орбиту со сбросом
отделяемых частей средств выведения в атмосферу Земли»,**
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин»

В условиях постоянного совершенствования средств ракетно-космической техники и разработки все более сложных сценариев космических миссий вопросы оптимизации траекторий управляемого движения космических аппаратов (КА) имеют первостепенное значение. Также все более актуальными становятся вопросы, связанные с очисткой околоземного пространства от различных объектов космического мусора как неизбежного следствия непрерывно возрастающего числа выводимых на орбиту и эксплуатируемых КА. В этой связи теоретические и прикладные исследования в области оптимизации траекторий КА, а также по проблеме космического мусора остаются в центре внимания специалистов по космической динамике. Данный аспект обуславливает **актуальность** рассматриваемой диссертационной работы, **целью** которой является решение задачи оптимального управления перелетом КА с низкой круговой орбиты искусственного спутника Земли на геопереходную («целевую») орбиту со сбросом двух ступеней разгонного блока в атмосферу Земли.

Диссертационная работа А.И. Проскурякова состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объём диссертации составляет 167 страниц, работа содержит 18 рисунков, список литературы включает 127 наименований.

Итогом проведенного автором исследования стали следующие **результаты**, сформулированные в виде положений, выносимых на защиту:

1. Постановка задачи оптимизации траектории перелета КА с реактивным двигателем большой ограниченной тяги с опорной низкой круговой орбиты на целевую эллиптическую со сбросом разделяемых ступеней разгонного блока в атмосферу Земли.
2. Реализация методики “лестница задач” — предложение серии вспомогательных задач, последовательное решение которых с использованием продолжения решения по параметру привело к решению целевой задачи.
3. Аналитическое исследование и численное решение задачи в импульсной постановке с фазовыми ограничениями и промежуточными условиями.

4. Численное построение экстремалей Понтрягина — решение краевых задач принципа максимума сложной структуры с промежуточными условиями.

5. Определение параметров траектории перелета и целевой орбиты, при которых дополнительные топливные затраты на сброс двух ступеней разгонного блока в атмосферу малы.

Научная новизна полученных автором результатов заключается в следующем:

1. Сформулирована задача оптимального управления перелетом КА с реактивным двигателем большой ограниченной тяги с опорной орбиты искусственного спутника Земли на целевую орбиту со сбросом дополнительного топливного бака и центрального блока разгонного блока в атмосферу Земли. На основе принципа максимума Л.С. Понтрягина нелинейная задача оптимального управления с разрывным управлением и промежуточными условиями сведена к многоточечной краевой задаче, численно построены экстремали и проведен их анализ.

2. На основе известных моделей движения КА в центральном ньютоновском гравитационном поле сформирована и решена серия вспомогательных задач, реализующая методику «лестница задач» и приводящая к решению исходной задачи.

Научные положения, вынесенные на защиту, сделанные в работе выводы и заключения **являются обоснованными и достоверными**. Достоверность полученных результатов основывается на строгой математической постановке задач, применении хорошо изученных методов. Результаты диссертации являются оригинальными и опубликованы в открытой печати.

Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в том, что задачи оптимального управления движением КА с двигателем большой ограниченной тяги нетривиальны и требуют для своего решения синтеза методов теоретической механики, оптимизации и вычислительной математики. Решение каждой новой сложной (нелинейной, с промежуточными условиями, разрывными управлениями и разрывами фазовых переменных) задачи оптимального управления развивает методику численного решения такого рода задач. Построенные экстремали Понтрягина могут использоваться при отработке методик проверки условий второго порядка локальной оптимальности и условий оптимальности на основе принципа Кротова.

Практическая значимость исследования определяется тем, что полученная в работе информация об оптимальных траекториях выведения КА с низкой круговой орбиты искусственного спутника Земли на целевую геопереходную орбиту со сбросом дополнительного топливного бака и центрального блока разгонного блока в атмосферу Земли может быть использована при создании и оценке реальных систем управления движением центра масс КА с реактивным двигателем большой ограниченной тяги; методика численного решения может быть применена при решении других актуальных и требующих решения оптимизационных задач; построенные экстремали Понтрягина могут использоваться в качестве известных решений при оценке оптимальности траекторий, построенных с использованием простых схем управления и других упрощающих предположений.

Апробация работы обеспечена представлением и обсуждением ее результатов на многочисленных отечественных и международных научно-технических конференциях, научных семинарах.

Следует отметить, что текст диссертации написан на высоком научном уровне, материал изложен логично и последовательно, должным образом оформлен и проиллюстрирован. **Автореферат** диссертации достаточно полно и точно отражает структуру, основное содержание и результаты выполненной автором диссертационной работы.

К диссертационной работе А.И. Проскурякова могут быть высказаны следующие **замечания**:

1. Судя по названию диссертации, целью работы является оптимизация выведения КА на целевую орбиту, включая сброс ступеней разгонного блока в атмосферу. На стр. 24 диссертации даётся такое определение целевой орбиты: «Под целевой орбитой в работе понимается любая такая орбита, что характеристическая скорость маневров довыведения с нее до геостационарной орбиты ограничена заданной величиной». Однако эта “заданная величина” нигде не приводится, за исключением главы 3, т.е. определение некорректно. Да и сам термин “целевая орбита” неудачен. Целью всего маневрирования является выведение КА на ГСО, т.е. ГСО является целевой орбитой. А то, что автор называет целевой орбитой, следовало назвать переходной или промежуточной орбитой.
2. Структура диссертации представляется не вполне логичной: сначала рассматриваются апсидальные импульсы (т.е. импульсы в апогеях и перигеях помежуточных орбит, глава 2), а потом доказывается их оптимальность (глава 3). Следовало поступить наоборот.
3. В диссертации повсеместно используется термин “наклон орбиты” вместо общеупотребительного термина “наклонение орбиты”.
4. Также крайне неудачным является применение термина “накладные расходы”, относящегося скорее к области финансов. Лучше было использовать термин “дополнительные затраты характеристической скорости” или “...топлива”.
5. Оптимизация перелёта КА производится в том числе с учётом влияния второй зональной гармоник (или, попросту говоря, сжатия Земли). Прежде чем приступить к этому исследованию, автору следовало бы оценить такое влияние с помощью простых известных формул вычисления вековых возмущений орбиты под действием сжатия Земли. Согласно этим формулам, вековые возмущения долготы восходящего узла и аргумента перигея за один оборот вокруг Земли не превосходят, соответственно, $1 \cdot 10^{-5}$ и $0,8 \cdot 10^{-3}$ град. для всех рассмотренных автором орбит; остальные элементы орбиты не имеют вековых возмущений. Таким образом, ввиду малости этих возмущений анализ автором влияния второй зональной гармоник теряет смысл.
6. Вместо тяжеловесной неуклюжей фразы “решение задачи перелета КА с опорной орбиты на целевую эллиптическую без априорного предположения об апсидальности импульсов совпадает с решением аналогичной задачи с априорным предположением об апсидальности импульсов...” на стр. 64 следовало просто написать “оптимальными являются апсидальные манёвры”.

Однако указанные замечания не затрагивают сути диссертационной работы и не снижают ее общий научный уровень и значимость. Эти замечания могут быть рассмотрены в качестве рекомендаций для проведения дальнейших исследований по данной теме.

Таким образом, по рассматриваемой диссертационной работе может быть сделано следующее **заключение**:

Диссертационная работа Проскурякова Александра Игоревича «Задача оптимизации траектории выведения космического аппарата на целевую орбиту со сбросом отделяемых частей средств выведения в атмосферу Земли» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной научной задачи, имеющей важное научное и практическое значение. Данная работа соответствует паспорту специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин».

По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, содержанию и оформлению рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Проскуряков Александр Игоревич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин».

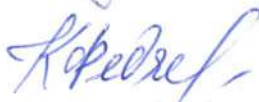
Отзыв обсужден и одобрен на заседании Научно-технического совета отдела 58 ИКИ РАН (протокол №2/12-25 от 22 декабря 2025 года).

Ведущий научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук



Суханов Александр Александрович

Научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук



Федяев Константин Сергеевич