

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Орлова Александра Александровича
«Оптимизация сложных схем перелёта КА с электроракетными двигателями при
граничных условиях смешанного типа»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов»

Диссертационная работа Орлова А.А. посвящена разработке методики баллистического проектирования межпланетных миссий космических аппаратов (КА), использующих гравитационные манёвры. Процесс поиска оптимальных траекторий в таких миссиях до сих пор является непростой задачей и требует разработки эффективных методик. Данное обстоятельство, а также активно обсуждаемые в последнее время планы по осуществлению межпланетных миссий определяют **актуальность** данной работы.

В качестве маршевой двигательной установки КА в настоящей работе рассматривается электроракетная двигательная установка (ЭРДУ). Оптимизационная задача сводится к краевой задаче с помощью принципа максимума Понтрягина. Полученная краевая задача решается с помощью модифицированного метода продолжения по гравитационному параметру. Для всех проектно-баллистических расчётов применяется метод грависфер нулевой протяжённости.

Процесс отыскания оптимальной траектории при межпланетном перелёте КА с маршевой ЭРДУ, включающей гравитационные манёвры, является сложной задачей. Сложность задачи прежде всего связана с тем, что вид условий оптимальности в точке гравитационного манёвра изменяется в зависимости от того, больше высота пролётной гиперболы КА, чем заданная, или равна ей. В связи с этим при поиске оптимального решения рассматриваются все возможные комбинации условий оптимальности в точках гравитационных манёвров. Данное обстоятельство приводит к существенному росту объема вычислений, особенно при значительном количестве гравитационных манёвров. Соискателем предложен подход, позволяющий получать оптимальную траекторию в рамках решения одной краевой задачи. Для реализации такого подхода Орлов А.А. преобразовал два известных условия оптимальности в точке гравитационного манёвра так, чтобы появилась возможность записать их в общем виде, т.е. для общего случая, когда высота пролётной гиперболы КА при гравитационном манёвре больше или равна заданной. При этом в краевой задаче появляются граничные условия как в виде равенства, так и в виде неравенства. Для решения такой краевой задачи автор предлагает использовать подход, основанный на введении в граничные условия дополнительных ослабляющих переменных. Такой подход позволяет свести ограничения неравенства к ограничениям равенства и решать полученную краевую задачу модифицированным методом продолжения по гравитационному параметру.

Также следует отметить, что разработанная соискателем методика расчёта траекторий, включающих гравитационные манёвры, лишь незначительно увеличивает порядок краевой задачи, что должно благоприятно сказываться на вычислительной устойчивости итерационной процедуры поиска оптимального решения.

Автором проведена модификация метода продолжения по гравитационному параметру с целью его применения для решения многоточечных краевых задач. Оригинальный метод продолжения по гравитационному параметру позволяет решать только двухточечные краевые задачи, например, задачи прямого межпланетного перелёта.

Разработанные автором методики показали высокую эффективность, о чем

ОТДЕЛ МАИ
30.10.2018 г.

свидетельствуют приведенные в автореферате примеры решения оптимизационной задачи.

Таким образом, **научная новизна** работы состоит в следующем:

- 1) В модификации метода продолжения по гравитационному параметру для случая многоточечных краевых задач.
- 2) В разработке новой методики оптимизации межпланетных траекторий КА с ЭРДУ, использующих гравитационные манёвры.
- 3) В развитии разработанной методики для решения краевых задач с ограничениями смешанного типа на основе использования дополнительных ослабляющих переменных.

Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением с аналогичными результатами, опубликованными другими авторами, и поэтому не вызывает сомнений.

В качестве **недостатков** необходимо отметить следующее:

- 1) Все результаты получены лишь в рамках применения метода грависфер нулевой протяжённости, хотя целесообразно было проверить применимость разработанной методики на иных методах, например, в сравнении с результатами решения задачи "n тел".
- 2) Не изучено влияние солнечного давления на движение КА, несмотря на значительную площадь солнечных батарей, необходимых для рассматриваемой солнечной электроракетной двигательной установки.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки представленной работы. Судя по автореферату, диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком уровне, соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России, а её автор Орлов А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Доцент департамента механики и мехатроники
Института космических технологий Инженерной академии
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»,

к.т.н., с.н.с.

«18» 10 2018 г.

Самусенко Олег Евгеньевич

Адрес: 117198, г.Москва, ул.Миклухо-Маклая, д.6
Эл. почта: samusenko@rudn.ru
Тел.: 8(495)955-08-90

Подпись Самусенко О.Е. заверяю.

Ученый секретарь Ученого совета РУДН
доктор физико-математических наук, профессор

« 18 » 10 2018 г.



В.М. Савчин