

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертацию М.Г. Широбокова «Баллистико-навигационные аспекты миссий малых космических аппаратов к Луне и точкам либрации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика

Диссертационная работа М.Г. Широбокова посвящена актуальным аспектам миссий малых космических аппаратов (МКА) к Луне и точкам либрации. Ориентируясь на современные технологии и средства обеспечения миссий с МКА в дальнем космосе, а также интерес ведущих мировых космических агентств к вопросам исследования Луны, соискатель подробно изучает возможности, предоставляемые динамикой задачи многих тел для перемещения в системе Земля-Луна и за ее пределами. Для этого М.Г. Широбоков ставит и решает три практически важные задачи. Первая задача состоит в проектировании траекторий перелета с типичных околоземных орбит на орбиты вокруг лунной точки либрации L_1 . Учитывая жесткие массогабаритные и энергетические возможности МКА, такой перелет возможен лишь с помощью двигателей малой тяги. И хотя задача перелета к Луне с малой тягой не нова, изюминкой предлагаемого автором подхода является использование регулярных сближений с Луной за ее сферой действия. С малыми затратами топлива эти сближения способны поднимать перигей орбиты на десятки тысяч километров. Регулярность их повторения обеспечивается близостью траектории МКА к резонансным орбитам, и в результате аппарат «перепрыгивает» с одного резонанса на другой. Здесь же решается и вопрос о подходящих цепочках резонансов, способных доставить МКА на целевую орбиту. Практическая польза разработанной методики состоит в том, что для каждой целевой орбиты вокруг лунной точки либрации L_1 она позволяет проанализировать все возможные цепочки резонансов. При подготовке результатов исследования соискатель проделал впечатляющую по масштабам работу: проанализировал характеристики траекторий перелета в зависимости от даты и времени старта, типа МКА (по общепринятой классификации - миниаппарат и наноаппарат), типа начальной околоземной орбиты (низкая круговая и геопереходная), различных по высоте орбит вокруг точки L_1 . Созданное соискателем программное обеспечение полностью автоматизировано и позволяет получать целые траектории для произвольных начальных данных. Отмечу также, что автоматизация расчетов стала

возможной благодаря грамотно подобранным методам численной оптимизации и выбора начальных приближений итерационных процедур.

После успешного решения задачи перелета МКА к Луне соискатель перечисляет существующие методы проектирования перелета между орбитами лунных точек либрации L_1 и L_2 , а также перелетов между системами Земля-Луна и Солнце-Земля и за пределы системы Солнце-Земля. Отмечаются богатые возможности по вариантам перелета, среди которых встречаются и бестопливные варианты. Затем соискатель выясняет какие окологруннне орбиты доступны при сходе МКА, оснащенных малой тягой, с гало-орбит вокруг лунных точек либрации L_1 и L_2 . Исследование показало, что для МКА обоих классов (мини и нано) доступны окологруннне орбиты в широком диапазоне значений по наклонению и высоте перицентра. С практической точки зрения важно, что аппаратам обоих классов доступны окологруннне орбиты, потому что именно такие орбиты используются и будут использоваться в ближайшем будущем с целью освоения человечеством южного полюса Луны и построения лунной базы.

Наконец, третья задача состоит в оценке энергетического выигрыша от смены номинальной орбиты вокруг точки либрации в результате временной задержки коррекции. Проведя многочисленную серию экспериментов, автор диссертации убедительно показал, что выбор оптимальной по затратам топлива орбиты из того же класса, что и исходная орбита, способен значительно сэкономить топливо, причем выигрыш впоследствии может быть направлен на поддержание новой орбиты, продлевая время жизни аппарата на несколько месяцев и даже лет. Результаты были получены для обеих точек либрации (L_1 и L_2), различных систем трех тел (Земля-Луна и Солнце-Земля) и различных типов номинальных орбит (гало-орбиты и квазигало-орбиты) в рамках эфемеридной модели движения тел Солнечной системы. Все это является крайне интересным и практически важным с точки зрения конструирования будущих миссий.

С самого начала своей учебной и рабочей деятельности в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, М.Г. Широбоков проявил глубокий интерес к математике, межпланетной орбитальной динамике и численным методам проектирования и оптимизации траекторий. Характер решаемых соискателем задач проявляется в масштабности требуемых вычислений:

в обучении в бакалавриате и магистратуре он проводил расчеты «всех возможных» межпланетных траекторий с пассивными или активными гравитационными маневрами в рамках разработанного и реализованного им метода виртуальных траекторий. Этот опыт помог в конечном итоге решить задачи диссертационной работы и получить результаты как фундаментального, так и прикладного характера.

Соискатель принял активное участие в выполнении грантов Российского фонда фундаментальных исследований (№16-31-00321, №15-31-20058, № 13-01-00665-а, № 12-01-33045-мол-а-вед), участвовал в выполнении Программы Президиума РАН №22, был исполнителем в Соглашении с Министерством образования и науки РФ № 8182. Диссертационная работа полностью выполнена под эгидой гранта Российского научного фонда №14-11-00621. Соискатель опубликовал восемь статей, из них пять по теме диссертации. Все они содержатся в журналах из перечня ВАК и индексируются в системах Scopus и Web of Science. Отмечу также и высокую степень апробации исследований соискателя – более 40 выступлений на российских и зарубежных конференциях и научных семинарах. М.Г. Ширококов является соавтором учебного пособия и ведет преподавательскую деятельность в Московском физико-техническом институте (МФТИ) в должности старшего преподавателя на кафедре Математических основ управления, а также читает лекции студентам старших курсов на кафедре математического моделирования и прикладной математики МФТИ, руководит НИР студентов.

Считаю, что М.Г. Ширококов является сложившимся научным и педагогическим работником. Выполненная им диссертационная работа «Баллистико-навигационные аспекты миссий малых космических аппаратов к Луне и точкам либрации» представляет собой законченное научное исследование, посвященное актуальным и востребованным практикой задачам полета МКА в системе Земля-Луна и за ее пределами, соответствует Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ. Основные результаты его исследований опубликованы в пяти статьях в журналах, входящих в перечень ВАК РФ по соответствующей специальности, доложены на научных семинарах и российских и зарубежных конференциях, включая престижный Конгресс IAF.

Диссертационная работа М.Г. Широбокова полностью соответствует требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней, а ее автор достоин присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика.

Отзыв составил:

Михаил Юрьевич Овчинников

д.ф.-м.н., профессор

заведующий сектором №4 «Ориентация и управление движением»

отдела №5 «Механика космического полета и управление движением»

Федерального государственного учреждения

«Федеральный исследовательский центр

Институт прикладной математики им М.В. Келдыша

Российской академии наук»

125047, Москва, Миусская пл., д.4

<http://keldysh.ru/persons/ovchinnikov.html>,

ovchinni@keldysh.ru

тел. 8(499)-220-78-49

М.Ю. Овчинников

Подпись научного руководителя заверяю.

Ученый секретарь

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, к.ф.-м.н.

 А.И. Маслов



09.02.2017