

ОТЗЫВ

официального оппонента Поляховой Елены Николаевны о диссертационной работе Трофимова Сергея Павловича «Увод малых космических аппаратов с низких околоземных орбит», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

01.02.01 – Теоретическая механика

Диссертация С.П. Трофимова посвящена важной, актуальной проблеме – разработке эффективных алгоритмов увода с орбиты, которые могут быть реализованы на борту малых спутников с учетом присущих им массогабаритных и энергетических ограничений. Соискателем решены задачи деорбитинга малых аппаратов с помощью двигателей малой тяги или с использованием солнечного паруса. В первой задаче рассмотрены популярные на практике случаи, когда КА пассивно стабилизируется по магнитному полю или собственным вращением. В силу необходимости идентификации вектора тяги не более двух маршевых двигателей могут быть установлены вдоль единственной стабилизированной оси. Таким образом, направление вектора тяги будет заданным в любой момент времени, и остается управлять ее величиной.

Во второй задаче требуется осуществить увод малых КА с низких орбит высотой более 700 км с помощью каркасного солнечного паруса для увеличения силы светового давления. Сложность задачи заключается в нахождении режима углового движения КА с парусом, экономичного в смысле его поддержания и в то же время синхронизованного с орбитальным движением КА так, чтобы обеспечивать вековое уменьшение большой полуоси. Наряду с динамической частью задачи исследуется проблема параметрического синтеза каркасных парусных систем с заданными динамическими характеристиками. Проводится сравнение эффективности топливных и парусных систем деорбитинга.

Научная новизна работы С.П. Трофимова состоит в оригинальности постановок задач: в задаче увода малых аппаратов с помощью двигателя малой тяги наложены максимально жесткие ограничения на направление тяги, а в задаче парусного деорбитинга исследуется угловое движение спутника с парусом в присутствии трех равных по порядку величины внешних моментов – гравитационного, аэродинамического и светового давления – и при наличии протяженного теневого участка орбиты. Что касается параметрического синтеза каркасных парусных систем, впервые он проводится в аналитической форме. Следует отметить удачный выбор диссертационной темы, объединяющей магнитные, атмосферные и солнечно-радиационные эффекты для отыскания нужного управления поступательно-вращательным движением для увода орбитального объекта на более низкие орбиты.

Обзор литературы по солнечным парусам приятно читать, он написан со знанием дела и уважением к основополагающим работам и монографиям прежних лет, как отечественным, так и зарубежным. Поскольку диссертация посвящается поступательно-вращательному движению КА, то и библиографические ссылки за редким исключением подобраны тематически, без углубления в необозримые пространства траекторных парусных разгонов как внутри Солнечной системы, так и за ее пределами. Диссертант тщательно познакомился с источниками, подойдя ко многим даже и критически.

В работе соискателя применена плодотворная идея комплексного применения управления солнечным парусом сначала в роли тормозящего отражающего устройства, а затем в качестве аэродинамического парашюта. Этот сложный структурный принцип снижения орбиты представляется весьма оригинальным и перспективным. Такая объединенная постановка фото- и аэродинамической задачи очистки орбиты является новой и может реально быть применена на практике. Вместе с тем по содержанию работы имеется ряд замечаний:

- 1) Не вполне ясно, почему в четвертой строке таблицы 0.1 на стр. 8 стоит негативная отметка о неприменимости тросовых конструкций для увода аппаратов из точек либрации. Электрический парус, упоминаемый диссертантом на стр. 9, является перспективной (пусть и не реализованной пока на практике) технологией и может быть использован для очистки точек либрации L1 и L3 системы Солнце-Земля.
- 2) Ряд замечаний можно сделать по рисункам; некоторые из них представляются недостаточно информативными. Например, на стр. 24 вводится стандартная орбитальная система координат и вектор (1.1), но обозначения всех осей появляются чуть позже, на стр. 25. Здесь не помешал бы рисунок, привязывающий эти оси к плоскостям эклиптики и экватора. Аналогично отсутствует эта привязка и на рис. 2.5, стр. 57, где изображено только направление на Солнце. Это затрудняет чтение текста. На стр. 62 дан рисунок 2.10, который, судя по тексту, должен иллюстрировать сдвиг центра масс КА относительно центра давления. Однако на рисунке такой сдвиг не показан.
- 3) Так как в предложенной диссертантом методике задействованы одновременно различные эффекты, налагающиеся друг на друга, было бы полезным отключать по очереди тот или иной эффект для более ясной качественной картины явления. Однако это замечание ничуть не снижает значимости работы, поскольку окончательные результаты вычислений не вызывают сомнений.
- 4) На стр. 79 допущена терминологическая неточность. Указано, что кривые на рис. 2.22-2.25 демонстрируют изменение элементов орбиты аппарата. На самом деле они демонстрируют изменение высоты орбиты, которая, строго говоря, орбитальным элементом не является. В то же время кривые изменения большой полуоси и эксцентриситета, «зашитые» в график изменения высоты орбиты, заслуживают отдельных графиков.
- 5) При рассмотрении орбиты с наклоном 56° надо соблюдать определенную осторожность и подвергнуть элементы орбиты предварительной проверке на резонанс по световому давлению. Такой резонанс определяется соизмеримостями между тремя угловыми скоростями: величинами дрейфа перигея и узла под действием второй зональной гармоники потенциала гравитационного поля Земли и скоростью видимого движения Солнца (1 градус в сутки). Световое давление может помогать уводу КА с орбиты, но может и препятствовать ему.
- 6) Введенный в диссертации на стр. 99 термин «легкость» является новым и не вполне понятным, так как из формулы (3.7) ясно, что это не что иное как коэффициент редукции гравитационного поля Солнца, возникающей ввиду отталкивания паруса солнечными лучами. Иногда эту величину называют просто фотогравитационной редукцией.

Тем не менее указанные выше недостатки не меняют общей положительной оценки диссертационного исследования, главные результаты которого с необходимой полнотой представлены в публикациях автора и правильно отражены в автореферате.

Считаю, что диссертационная работа С.П. Трофимова «Увод малых космических аппаратов с низких околоземных орбит» удовлетворяет требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика, а ее автор – Трофимов Сергей Павлович – заслуживает присуждения ему искомой степени.

Лауреат премии Ф.А. Цандера Российской академии наук, кандидат физико-математических наук (специальность 01.03.01 – Астрометрия и небесная механика), доцент кафедры небесной механики математико-механического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ)

Адрес: 198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Университетский пр., 28

Телефон: (812) 428-41-63

E-mail: pol@astro.spbu.ru

Сайт: www.astro.spbu.ru

Елена Николаевна Поляхова

