

ОТЗЫВ

официального оппонента Петухова Вячеслава Георгиевича на диссертационную работу Трофимова Сергея Павловича «Увод малых космических аппаратов с низких околоземных орбит», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика».

Актуальность темы

В результате космической деятельности в околоземном космическом пространстве накапливается большое количество космического мусора – отработавших средств выведения, нефункционирующих космических аппаратов (КА) и их фрагментов. Космический мусор уже в настоящее время представляет опасность для действующих КА на низких околоземных орбитах, а его неконтролируемый рост в будущем может привести к серьезным ограничениям на возможность доступа в космос. Для ограничения роста космического мусора разработаны рекомендации и стандарты по уводу отработавших КА за пределы наиболее востребованных (и наиболее замусоренных) зон околоземного космического пространства и по ограничению срока орбитального существования КА на низких околоземных орбитах. Для ряда орбит, например для околокруговых орбит высотой 800-1500 км, выполнение этих рекомендаций сопряжено с большими трудностями, связанными с большой величиной требуемой характеристической скорости для реализации мероприятий по уводу КА с этих орбит на орбиты захоронения или на орбиты с ограниченным заданной величиной сроком баллистического существования.

В последнее время на орбиту выводится множество малых КА, не имеющих полноценных систем управления движением. Большинство из этих КА вообще не имеют двигательной установки, но даже при ее наличии увод с орбиты осложняется невозможностью построения такими КА ориентации вектора тяги, требуемой для эффективного снижения высоты орбиты.

Поэтому тема диссертации С.П.Трофимова, в которой рассматривается задача увода малых КА на орбиты с ограниченным сроком баллистического существования при наличии ограничений на ориентацию вектора

управляющего ускорения, создаваемого двигательной установкой или солнечным парусом, представляется актуальной.

Структура и содержание работы

Диссертация С.П. Трофимова состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованных источников.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, приводится обзор методов увода малых КА с низких околоземных орбит, по итогам которого определяются наиболее актуальные, с точки зрения автора, задачи, а также приводится краткий обзор содержания диссертации.

В первой главе рассматривается задача увода с орбиты наноспутника класса кубсат с электроспрейным ракетным двигателем. Рассматриваются два варианта одноосной пассивной стабилизации углового положения КА: стабилизация вращением и пассивная магнитная система стабилизации. Рассматривается осредненная задача оптимизации увода с орбиты с ограничением на ориентацию вектора тяги. Число и расположение активных участков на витке определяется из анализа функции Понтрягина, а длительности активных участков – из решения задачи нелинейного программирования. Приводятся численные результаты и оценки минимального числа витков для увода КА на заданную орбиту.

Во второй главе рассматривается задача увода с орбиты малого КА с помощью плоского солнечного паруса. Для формирования вращательного движения КА с парусом, обеспечивающего благоприятный режим увода, вводятся в рассмотрение демпфирующие управляющие моменты. Для выбора коэффициентов демпфирования используется метод ляпуновских экспонент. Разработаны рекомендации по выбору численных значений коэффициентов демпфирования, обеспечивающих режим вращательного движения КА, названный автором квазигиперболоидальной прецессией. Показано существенное уменьшение длительности увода КА с парусом с солнечно-синхронных орбит высотой 900 км при использовании такого режима вращательного движения по сравнению со случаем увода неуправляемого КА с парусом. Проведены оценки влияния скорости закрутки КА на длительность увода, подтверждена устойчивость режима квазигиперболоидальной прецессии к отклонениям в начальных условиях,

проанализирована чувствительность этого режима к оптическим и геометрическим параметрам системы КА-парус.

В третьей главе рассматриваются вопросы динамически инвариантного масштабирования солнечного паруса, оставляющего неизменными парусность и относительный прогиб опорных штанг паруса, а также эффективности применения солнечного паруса в задачах увода низкоорбитальных КА. Устанавливается связь полезной массы КА с долей полезной массы, вводится понятие эффективного удельного импульса солнечного паруса, основанное на сообщаемой космическому аппарату с помощью паруса характеристической скорости и доли полезной массы. Делается вывод о существенно меньшей эффективности увода низкоорбитальных КА с помощью солнечного паруса по сравнению с уводом с использованием электроспрейных двигателей.

В заключении перечисляются основные полученные результаты.

Научная новизна и достоверность результатов

В результате выполнения работы автором получены следующие новые результаты:

- постановлены и решены задачи расчета программ работы двигателей малой тяги для увода низкоорбитальных малых КА с простыми системами одноосной стабилизации;
- предложен и обоснован режим квазигиперболоидальной прецессии для увода низкоорбитальных малых КА с помощью солнечного паруса;
- в аналитическом виде проведен параметрический синтез каркасных парусных систем с одновременным обеспечением и динамических, и прочностных характеристик паруса.

Достоверность полученных результатов определяется использованием апробированных математических моделей и численными экспериментами.

Практическая значимость

Практическая значимость диссертации заключается в возможности использования предлагаемыми автором методов и режимов управления для увода с орбиты низкоорбитальных малых КА.

Замечания к тексту диссертации

По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1) Утверждение, что переменные, сопряженные к свободным медленным переменным, имеют тот же порядок величины, что и производные от соответствующих медленных переменных (стр. 29) не является обоснованным. В связи с этим не вполне обосновано допущение о малости величины переменных, сопряженных к свободным медленным переменным на больших интервалах времени.

2) Замена в модели геомагнитного поля наклонного диполя прямым приводит к неучету колебаний вектора тяги относительно направления силовой линии прямого диполя, то есть к неучету снижения эффективной тяги двигательной установки.

3) Фактически, в диссертации из принципа максимума устанавливается только структура управления (число активных участков на витке и положение их центров). Вместе с тем, длину активных участков в задаче увода с помощью двигательной установки можно было бы выразить непосредственно из условия максимума функции Понтрягина. При этом представленную в диссертации задачу нелинейного программирования для определения длин N активных участков можно было бы заменить более простой краевой задачей для системы обыкновенных дифференциальных уравнений с единственным неизвестным параметром – начальным значением сопряженной переменной ψ_a .

4) В диссертации используется неоправдано большое количество англоязычных терминов, у которых есть аналоги в русском языке.

Заключение по работе

Указанные недостатки не снижают общей положительной характеристики диссертационной работы.

Диссертация С.П. Трофимова «Увод малых космических аппаратов с низких околоземных орбит» является законченным научным исследованием, имеющим теоретическую и практическую ценность.

Работа удовлетворяет требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор, Трофимов Сергей Павлович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.02.01 «Теоретическая механика».

Вячеслав Георгиевич Петухов,

доктор технических наук

(специальность – 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»),

начальник отдела Научно-исследовательского института прикладной механики и электродинамики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

адрес: 125080 Москва, Ленинградское шоссе, д. 5, а/я 43

телефон: 8 495 158 4931

e-mail: vgpetukhov@gmail.com

сайт: www.mai.ru

Подпись официального оппонента В.Г. Петухова удостоверяю
Ученый секретарь

Научно-исследовательского института прикладной механики и электродинамики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

кандидат технических наук



Е.М. Петров