

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Трушлякова В.И. на диссертационную работу Чэнь Шумин «Разработка программ управления для развёртывания вращающихся тросовых группировок космических аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

В настоящее время в мире сохраняется интерес к космическим тросовым системам. Использование тросовых технологий в космосе позволяет создавать легкие и в тоже время протяженные конструкции, что невозможно с помощью традиционных космических средств. В последнее время появились многочисленные публикации ведущих специалистов по тросовым системам, где рассматриваются различные аспекты применения тросовых технологий для формирования на орбите тросовых группировок космических аппаратов (ТГКА). Рассматриваются ТГКА самых различных геометрических конфигураций, начиная со сравнительно простых, линейных, когда цепочка КА располагается вдоль местной вертикали и совершает полет в режиме гравитационной стабилизации, и кончая геометрически сложными пространственными структурами (пирамида, двойная пирамида). Причем сложные плоские и пространственные конфигурации ТГКА обычно стабилизированы вращением вокруг своего центра масс, что обеспечивает их структурную устойчивость в течение длительного времени при минимальном расходе топлива. Совершая согласованный полет по орбите такие ТГКА могут иметь много полезных применений. Это прежде всего распределенные измерительные системы и системы наблюдения. Так, например, с помощью распределенных оптических протяженных систем наблюдения за дальним космосом можно получить такие результаты, которые недостижимы с помощью монолитных космических телескопов большой массы. В этом случае, естественно, выигрыш в массе при выведении космических систем

Входящий № 206 - 3969
Дата 30 МАЙ 2023
Самарский университет

наблюдения на орбиту огромен. Реализация подобных проектов в будущем невозможна без тщательного исследования динамики движения таких систем, без разработки методов их формирования или развертывания.

В связи с вышесказанным считаю, что рассматриваемая в диссертации Чэнь Шумин тема исследований, связанная разработкой методов управления при развертывания вращающихся ТГКА, *актуальна*.

В диссертационной работе рассматривается ТГКА двух плоских конфигураций: «треугольник» и «ступица – спицы». Рассматриваемые ТГКА в своем конечном состоянии после окончания их развертывания стабилизированы вращением. Конечное состояние первой конфигурации — это правильный треугольник, в вершинах которого располагаются КА. Вторая лучевая конфигурация состоит из центрального КА, на которого возлагаются основные функции управления, и двух микроспутников, расположенных на концах тросов («спиц»). Основное внимание в диссертации уделяется разработке программ развертывания рассматриваемых ТГКА.

Перед Чэнь Шумин при проведении диссертационного исследования были поставлены следующие задачи:

1. Разработать математические модели движения ТГКА рассматриваемых конфигураций, с различной полнотой описывающих их движения.
2. Разработать программы управления при формировании вращающейся ТГКА конфигурации «треугольник» с использованием управления реактивными силами малой тяги и силами натяжения тросов, и с учётом ограничений на управляющие воздействия.
3. Разработать программы управления для формирования вращающейся ТГКА «ступица-спицы» с использованием реактивных сил малой тяги и управления силами натяжения тросов.

4. Провести проверку возможности реализации предлагаемых номинальных программ управления с использованием моделей движения ТГКА, учитывающих возмущения.

Чэнь Шумин в полной мере справилась с поставленными задачами. Она сначала для каждой конфигурации предложила состав системы управления, необходимой для их формирования, а потом разработала программы управления, решающие поставленные задачи приведения рассматриваемых систем в заданное состояние вращения. В конечном итоге на завершающем этапе исследования Чэнь Шумин рассмотрела влияние возмущений на процесс развертывания ТГКА.

В процессе решения поставленных задач автором получены следующие результаты, обладающие *научной новизной*:

1. Построены математические модели движения ТГКА конфигураций «треугольник» и «ступица-спицы», с различной степенью полнотой описывающие процесс их формирования.

2. Предложена и исследована номинальная программа управления силами натяжения тросов и реактивными силами (релейный закон) при развёртывании треугольной ТГКА. Для частного случая, когда после достижения заданной угловой скорости реактивные двигатели выключаются, получено аналитическое решение уравнений движения, позволяющее оценить финальную установившуюся угловую скорость вращения ТГКА.

3. Получены аналитические оценки для величины угловой скорости вращения треугольной ТГКА, необходимой для устойчивого её вращения после формирования системы.

4. Предложен и исследован подход к построению номинальной программы развертывания треугольной ТГКА, который ещё на этапе проектирования системы управления позволяет учесть заданные ограничения на управляющих воздействиях.

5. Разработаны программы управления при формировании ТГКА «ступица-спицы», реализующие терминальный принцип управления по

конечному состоянию системы. Нелинейный закон развёртывания ТГКА строится в соответствии с принципами робастного управления с учётом наличия ограниченных возмущений.

Обоснованность научных результатов и выводов диссертации вытекает из проведенного автором тщательного исследования, в результате которого выдвигаемые автором теоретические положения и разработанные программы управления подтверждаются математическим моделированием по моделям движения ТГКА с учетом действующих возмущений.

Достоверность научных результатов подтверждается строгостью применяемых математических методов исследования, классических численных методов и методов теории управления, и обоснованностью допущений в математических моделях движения. Результаты исследования не противоречат известным публикациям других авторов в рассматриваемом научном направлении.

Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики заключается в разработке математических моделей и программ для формирования ТГКА конфигураций «треугольник» и «ступица – спицы», которые могут служить основой для проектирования будущих космических миссий, связанных с использованием тросовых систем. Теоретические результаты, представленные в работе, дополняются программным обеспечением, реализующим предложенные математические модели и алгоритмы управления.

Материалы исследований по теме диссертации докладывались автором на международных и всероссийских конференциях. Основные результаты диссертации автором опубликованы, в том числе в трех журналах из списка ВАК и в шести журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, в том числе в одном журнале, имеющим квартиль Q1. В публикациях основные результаты диссертации изложены в полной мере.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания к диссертации:

1. Автором не проведен в полной мере проведен анализ влияния действующих возмущений на качество управления движением рассматриваемых ТГКА. В частности, не учитываются разбросы конструкторских параметров всех элементов, входящих в исследуемые системы (КА, трос, механизмы выпуска тросов).

2. Ограничения на возмущения при разработке программы управления развертыванием ТГКА конфигурации «ступица – спицы» учитываются формально, как это обычно делается в теоретических работах, то есть считается, что вся совокупность возможных возмущений описывается несколькими слагаемыми, модуль которых ограничен. При исследовании технических систем лучше рассматривать влияние конкретных возмущений: для данных задач, например, нецентральности гравитационного поля, атмосферы и т.д.

3. Не ясна судьба программного обеспечения, созданного автором при проведении диссертационных исследований, представлены ли они в Фонд алгоритмов и программ, что позволило бы их использовать другим исследователям

4. Имеются отдельные стилистические неточности и небрежности при оформлении графиков и схем.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Чэнь Шумин.

Заключение

Диссертационная работа Чэнь Шумин содержит совокупность новых научных результатов, имеющих практическое значение, и является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, полностью соответствует требованиям п. 9 Положения «О порядке присуждения учёных степеней ВАК РФ, предъявляемых диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук». В диссертации содержится решение задачи, имеющей существенное значение для области

