

В диссертационный совет 24.2.379.03

на базе ФГАОУ ВО "Самарский
национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королёва"

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н., доцента Притыкина Д.А. на
диссертационную работу

Чэнь Шумин

на тему: **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

Актуальность работы обусловлена интересом специалистов в области проектирования космических миссий к использованию на орбите распределённых космических систем, позволяющих эффективно выполнять задачи, например, по сбору научных данных (там, где требуются пространственные градиенты измеряемых величин) или наблюдению за космическим пространством (космические интерферометры с распределённой апертурой). В работе Чэнь Шумин рассматривается управляемая динамика групп космических аппаратов (КА), часть которых связана друг с другом тросами. Такой подход позволяет выстраивать сложные геометрические структуры, на поддержание которых требуется малый расход топлива, что особенно актуально для проектирования и эксплуатации космических систем. Вместе с тем нельзя не согласиться со сделанным автором утверждением о том, что «обеспечение согласованного полёта по орбите тросовых группировок как многоэлементных систем КА, связанных лёгкими и гибкими связями, представляет собой сложную задачу, решение которой ещё далеко от завершения управления». Несмотря на то, что многоспутниковые тросовые космические системы рассматриваются в качестве составной части нескольких проектируемых в настоящее время космических миссий, многие инженеры испытывают скепсис по отношению к тросовым системам из-за довольно высокого процента неудач в проводившихся к настоящему моменту экспериментах.

Входящий № 206-4282
Дата 13 ИЮН 2023
Самарский университет

Тем большую актуальность приобретает выполненное Чэнь Шумин исследование, в котором предлагаются простые при реализации методы управления именно этапом развёртывания тросовых систем, продемонстрированные на примере двух наиболее популярных у исследователей плоских конфигураций, состоящих из трёх КА.

Научная новизна и практическая значимость исследований.

Диссертация соответствует поставленной цели, задачам по ее достижению, а также полученным результатам и выводам. Степень научной новизны диссертации достаточна для кандидатской диссертации и относится ко многим ее аспектам. В качестве новых научных результатов, полученных автором лично, следует отметить, что:

- построены модели управляемой динамики конфигураций «треугольник» и «ступица-спицы», учитывающие движение центров масс КА и их угловое движение;
- предложены и исследованы программы управления силами натяжения тросов и реактивными силами при развёртывании конфигураций «треугольник» и «ступица-спицы»;
- для треугольной конфигурации получено аналитическое решение уравнений движения невозмущенной системы, построены аналитические оценки величины угловой скорости для обеспечения устойчивого вращения треугольника;
- с помощью метода скользящих режимов получены программы управления реактивными силами и силами натяжения тросов для развёртывания треугольной конфигурации.
- для конфигурации «ступица-спицы» нелинейный закон развёртывания построен в соответствии с принципом робастного управления с учётом наличия ограниченных возмущений и возмущений, связанных с начальным состоянием системы.

В результате проведенного исследования автором сформулированы практические рекомендации по управлению движением различных конфигураций группы КА, связанных тросами, на этапах их развёртывания. Также важен проведённый анализ устойчивости движения системы после развёртывания. Результаты работы могут быть использованы для проектирования перспективных космических миссий. В частности, для треугольной конфигурации показано, как на этапе проектирования системы управления учесть заданные ограничения на управляющих воздействия (с помощью включения в контур управления вспомогательной динамической системы).

Диссертация Чэнь Шумин представляется целостным и законченным исследованием, представляет решение актуальных задач, объединенных общим подходом, обеспечивающим возможность корректного анализа динамики распределённых космических систем, состоящих из КА, связанных тросами, и синтеза новых алгоритмов их управляемого развёртывания на орбите.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием методов классической механики, теории управления, вычислительной математики, а также согласованностью полученных результатов с известными результатами по исследованию динамики многоспутниковых тросовых систем.

Замечания по работе. К содержанию работы могут быть сделаны следующие замечания:

- Во второй главе диссертантом даётся описание моделей движения тросовых систем, а также описываются основные допущения, в которых получены уравнения движения. Безусловно, постановка задачи в приведённых допущениях имеет право на существование и, как показывает исследование, приводит к новым результатам. Однако учитывая множество публикаций, посвященных исследованию движения космических тросовых систем, в диссертации следовало бы обсудить, каким образом полученные решения, режимы и алгоритмы сохраняют устойчивость при отказе от предположения о плоском движении или учёте несферичности Земли. В литературе описаны случаи потери устойчивости движений, полученных в плоских моделях, и они заслуживают как минимум упоминания, а как максимум – анализа и численного эксперимента, демонстрирующего поведение полученных алгоритмов в трёхмерном движении. Здесь же стоит упомянуть, что даже введенные автором системы координат нацелены исключительно на исследование плоского движения, и не позволяют легко обобщить модели на трёхмерный случай, который безусловно представляет интерес в контексте развития предложенных автором подходов.
- Поскольку модели, описанные автором во второй главе диссертации, входят в число результатов, обладающих новизной и выносимых на защиту, было бы уместно во-первых, обосновать, в чём состоит их новизна, а во-вторых, верифицировать эти модели, показав их работу на примерах, которые легко сравниваются с аналитическими результатами или известными результатами других авторов. Часть численных экспериментов, приведённых в последующих главах, подтверждает

корректность моделей, однако я полагаю, что верификацию построенных моделей необходимо было провести и продемонстрировать непосредственно после вывода уравнений и отдельно от численных экспериментов, имеющих ценность нового научного результата.

- В четвертой главе при синтезе регулятора автор фактически синтезирует оптимальное управление для линеаризованной системы методом Беллмана (получая решение задачи о линейно-квадратичном регуляторе). Возможно, автору стоило бы упомянуть, в чём отличие синтезированного алгоритма от LQR (рецензенту это отличие в глаза не бросилось), и в чём причина отказа от более подходящего к управлению нелинейной системой алгоритма - SDRE (например, что результаты использованного алгоритма вполне удовлетворительны и без усложнения).
- Автором допущен ряд опечаток и терминологических неточностей. Так, например, после уравнения (2.9) правая часть названа вектором обобщённых сил, несмотря на то что часть обобщённых сил (связанных с потенциальной энергией (2.8)) стоит в левой части уравнения (2.9). На странице 52 автор позволяет себе вольно интерпретировать понятие «односторонней механической связи», говоря, что «она описывается силой натяжения» и т.п.

Отмеченные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Общее заключение. Основные результаты диссертации опубликованы в 11 научных работах, в том числе 3 статьи опубликованы журналах, входящих в список, рекомендованный ВАК, 6 статей – в журналах, проиндексированных в базах Scopus и WoS. Результаты исследования прошли апробацию на нескольких конференциях и научных семинарах. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации и характеризуют результаты проведённых исследований.

Результаты исследования доведены до уровня практических рекомендаций, что позволяет использовать их при проектировании перспективных многоспутниковых тросовых систем.

Уровень решаемых задач представляется соответствующим требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата технических наук. Содержание диссертации соответствует паспорту

специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Диссертационное исследование Чэнь Шумин «Разработка программ управления для развёртывания вращающихся тросовых группировок космических аппаратов» соответствует всем требованиям ВАК и требованиям "Положения о порядке присуждения учёных степеней". Диссертант заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук, доцент,
математик отдела моделирования космических систем
ООО «Бюро1440»
123022, Москва г., Столярный пер.,
дом 3, корп.14,16 (БЦ «Рассвет»)
Тел. +7 915 457 78 93, dpritykin@rambler.ru

 Дмитрий Аркадьевич Притыкин

8.06.2023 Дата

Подпись Д.А. Притыкина заверяю

 Лущкова А. А.
