

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**д.т.н., профессора Мельникова В. М. на диссертационную работу Зыкова Александра Владимировича «Исследование динамики управляемого движения космического аппарата с большим вращающимся солнечным парусом», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»**

Развитие новых подходов к созданию элементов ракетно-космической техники, а также интенсивно развивающиеся новейшие технологии позволяют с новых позиций рассматривать проблемы создания высокоэффективных аппаратов для решения актуальных задач космической техники в ближайшей и отдалённой перспективе. Формируемые центробежными силами бескаркасные крупногабаритные космические конструкции значительно эффективнее своих каркасных аналогов в ряде перспективных задач космической техники. Это формирование перпендикулярной солнечным лучам плоской площадки из волоконных лазеров с солнечной накачкой для информационно-энергетических систем беспроводной передачи энергии, в том числе космических солнечных электростанций большой мощности для трансляции лазерной энергии на Землю в проблеме энергетического кризиса и стабилизации погоды, создание эффективных космических солнечных батарей большой размерности, сверхнизкочастотных рамочных тросовых антенн для связи с глубоководными и подземными объектами, ретрансляторов, отражателей, солнечных парусов.

Представленная диссертация посвящена разработке теоретических аспектов управления движением космических аппаратов (КА) с большими вращающимися тонкоплёночными конструкциями.

Актуальность темы данной работы не вызывает сомнения. Важность решения научно-технических задач управления такими КА напрямую связана с обеспечением их работоспособности и высоких показателей по точности при решении целевых задач.

Целью работы является разработка алгоритмов управления угловым движением КА с центробежными конструкциями, а также алгоритмов раскрытия таких конструкций и математическое моделирование динамики движения в различных режимах.

В диссертационной работе автор рассматривает новый класс КА различного назначения, не требующих расхода рабочего топлива на

динамические операции, такие, как угловые маневры, демпфирование начальных угловых скоростей и разгрузку накопленного кинетического момента. Во Введении диссертации представляется подробная схема и описание составных частей такого аппарата.

В первой главе автор аналитически исследует напряженно-деформированное состояние вращающейся пленочной мембраны, находящейся под нагрузкой центробежной силы и гироскопического момента, возникающего при повороте оси вращения центральной вставки. Автор находит стационарную форму мембранного диска при регулярной прецессии оси вращения конструкции. Решение находится как решение уравнения движения мембраны методом вариации постоянной, так и методом Фурье в виде ряда по нормированным собственным функциям. Для доказательства устойчивости найденной стационарной формы используется прямой метод Ляпунова, примененный к системе с распределенными параметрами. Для доказательства асимптотической устойчивости применяется гипотеза Фойгта.

Во второй главе диссертант предлагает алгоритмы управления угловым движением платформы с центробежной конструкцией. Проводится математическое моделирование углового движения КА в режимах гашения начальных угловых скоростей и программного разворота. Предлагается закон управления с обратной связью по углам и угловым скоростям приборного отсека.

В третьей главе диссертации рассматриваются схемы выпуска из уложенного состояния. Предлагается схема укладки и первоначальный этап её раскрытия. Конструкция представляется в виде четырех симметричных тросов, выпускаемых симметрично из вращающегося с постоянной скоростью центрального барабана, поэтому в дальнейшем автор переходит к рассмотрению выпуска одного троса. Находится аналитическое решение выпуска точечной массы на невесомом тросе для случаев равномерного выпуска и равномерно-замедленного. Строится математическая модель весомого троса в виде массовых точек, равномерно распределенных по длине троса и соединенных невесомыми нитями. Полученная система уравнений решается методом прогонки. Важной отличительной особенностью построенной модели является ее применимость к моделям с любым законом распределения массы по длине троса, что на практике и будет происходить при укладке реальных конструкций.

Методы исследований соответствуют современным подходам к постановке и решению задач анализа механических систем. Анализ

процессов углового управления и раскрытия из уложенного состояния проведен с использованием современных версий прикладных компьютерных программ. Все научные положения диссертации, выводы и рекомендации носят обоснованный характер.

Достоверность научных результатов и уровень научных исследований, проведенных в данной работе, соответствует современным требованиям. Представленное описание процессов достаточно полно и точно отражает их существо, расчетные данные получены различными методами и совпадают, что свидетельствует о достоверности расчётов, приведенных в работе. Исследования имеют последовательный и завершённый характер.

Научная новизна лично полученных диссертантом результатов заключается в оригинальности постановок и методов решения ряда задач механики. Методы и алгоритмы, представленные в диссертации, имеют большое практическое значение и могут быть применены при разработке и осуществлении будущих космических проектов.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне и содержит решение важной научно-технической задачи, связанной с изучением динамики КА с центробежными космическими конструкциями. Автореферат полностью отражает суть диссертации. Апробация результатов, полученных в результате работы, проводилась на различных научно-технических конференциях, включая зарубежные. По теме работы автором опубликовано свыше 20 научных статей, в том числе 6 из которых, в журналах, включенных в перечень рецензируемых ВАК.

По тексту диссертации имеется ряд замечаний и пожеланий для будущих исследований:

1. В первой главе при нахождении стационарной формы мембранного диска не понятно для чего решение находилось методом Фурье в виде ряда по собственным функциям. Найденный результат нигде дальше не используется в отличие от результата, найденного методом вариации постоянной.
2. Во второй главе не совсем обоснован переход от описания объекта управления как системы с распределенными параметрами к описанию КА с одним гироскопом в упругом подвесе и силовым гироскопом. Возможно, переход и правильный, но необходимо провести численные расчеты и показать точность этой замены.
3. Рассмотрение выпуска солнечного паруса из уложенного состояния в третьей главе происходит из предположения постоянства угловой скорости центрального барабана и симметричности процесса выпуска четырех тросов.

На практике же постоянство угловой скорости может не соблюдаться, а также выпуск может происходить не симметрично, что может привести к непредсказуемым возмущениям. Более того, для обеспечения отсутствия колебаний центральной вставки относительно раскрываемой конструкции в КЭ «Знамя2» использовалась «падающая» моментная характеристика двигателя постоянного тока и обгонная муфта, а также специальная конструкция укладки (8 секторов). В работе не приведены результаты моделирования с учетом внешних воздействий и моментов, возникающих из-за несимметричности выпуска.

Указанные выше недостатки не меняют общей положительной оценки диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Зыкова А.В. «Исследование динамики управляемого движения космического аппарата с большим вращающимся солнечным парусом» удовлетворяет требованиям Положения ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Зыков Александр Владимирович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Отзыв составил:

Мельников Виталий Михайлович

доктор технических наук, профессор,

Главный научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,



В.М. Мельников

Адрес: 141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4.

Телефон: 8-495-513-59-51

E-mail: [melnikov45@tsniimash.ru](mailto:melnikov45@tsniimash.ru)

Сайт: <http://www.tsniimash.ru/>

Подпись доктора технических наук, профессора В.М. Мельникова заверяю:

Советник генерального директора –

Главный ученый секретарь ФГУП «ЦНИИмаш»,

доктор технических наук, профессор



Ю.Н. Смагин