

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМех РАН)**

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва, 119526
Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31
ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735
ИНН/КПП 7729138338/772901001

18.11.2015 № 11804/02-21412-682

На № _____

«Утверждаю»
Директор ИПМех РАН
член-корреспондент РАН
С.Т. Суржиков

«18» ноября 2015 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наук на диссертацию 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.

Диссертация А.В. Зыкова посвящена актуальным вопросам моделирования, управления движениями и формирования рабочей поверхности для нового класса космических аппаратов (КА), снабженных протяженными бескаркасными вращающимися конструкциями – солнечными парусами, – и силовыми гироскопами – гиродинами. Сочетание таких устройств позволяет значительно снизить расход рабочего тела (топлива) на борту КА и, используя силу солнечного ветра и законы механики, эффективно совершать коррекцию орбиты, угловые маневры и разгрузку накопленного кинетического момента.

Целью работы является разработка математических моделей и алгоритмов управления угловыми движениями космической платформы с большим вращающимся парусом, а также развитие подходов к разворачиванию бескаркасных конструкций в заданное рабочее состояние.

В работе развиваются методы теоретической механики, квалифицированно задействованы теория дифференциальных уравнений и теория специальных функций математической физики. Автор применяет метод Ляпунова для доказательства устойчивости движения, метод разделения переменных и элементы линейной алгебры, эффективно использует различные численные подходы.

В первой главе диссертации А.В. Зыковым рассмотрена задача о плоско-напряженном состоянии упругого материала тонкого кольцеобразного паруса,

закрепленного на вращающейся жесткой вставке, с учетом влияния центробежных сил. В рамках теории тонких мембран получена стационарная форма поперечных перемещений точек паруса, который находится под воздействием гироскопического момента, возникающего при повороте центральной жесткой вставки. Выражение для искомой формы мембраны найдено как в виде явного математического соотношения, так и с помощью метода Фурье путем разложения решения в ряд по собственным функциям, которые выражаются через функции Хойна.

Проведено доказательство устойчивости полученной стационарной формы при прецессии оси вращения системы с помощью введенной функции Ляпунова для распределенной упругой системы. Для вязкоупругой модели вращающегося паруса в рамках гипотезы Фойгта показана асимптотическая устойчивость исследуемого поворота быстро вращающейся мембраны.

Во второй главе диссертации выводится система обыкновенных дифференциальных уравнений, которые описывают динамику вращающейся тонкой мембраны в общем случае поворота системы координат, жестко связанной с центральным телом. С использованием этих уравнений получена конечномерная модель, которая приближенно определяет движения КА, состоящего из приборного отсека, солнечного паруса и силового гироскопа. Для гашения начальных угловых скоростей приборного отсека и разворота КА в пространстве предложен закон управления скоростью прецессии силового гироскопа. Используется линейная обратная связь по углам и угловым скоростям приборного отсека и угловым скоростям отклонения плоскости мембранного диска. Проведено численное моделирование управляемых движений системы с заданными параметрами и выбранными коэффициентами усиления, продемонстрировано активное гашение колебаний, возникающих в процессе управления угловой скоростью и переориентации КА.

В третьей главе приводится аналитическое решение уравнения малых поперечных колебаний точечной массы на невесомом тросе в процессе выпуска из вращающегося центрального тела. Решение найдено для случая равномерного удлинения троса через функции Бесселя и для случая равномерно замедленного выпуска через гипергеометрические функции. Построена модель разворачивания весомого троса, представимого как система материальных точек, которые соединены невесомыми нерастяжимыми нитями.

Научная новизна работы А.В. Зыкова состоит в оригинальности постановок и методов решения следующих задач механики:

- определение напряженно-деформированного состояния вращающейся кольцевой мембраны, находящейся под воздействием гироскопического момента, который возникает при повороте оси вращения центральной жесткой вставки;
- нахождение стационарной формы мембранного диска, возникающей при регулярной прецессии оси вращения центрального тела;
- доказательство устойчивости найденной стационарной формы для упругого паруса и асимптотической устойчивости для вязкоупругой модели в рамках гипотезы Кельвина–Фойгта;

- управление по обратной связи гашением начальных угловых скоростей и стабилизация программных разворотов КА с быстро вращающимся парусом посредством поворота оси вращения ротора силового гироскопа.
- анализ малых поперечных колебаний точечной массы на невесомом тросе в процессе его равномерного и равномерно замедленного выпуска из вращающегося центрального блока;
- моделирование выпуска весомого троса, представимого в виде совокупности материальных точек, соединенных невесомыми нерастяжимыми нитями.

Диссертация оформлена на высоком уровне. Ее текст хорошо структурирован и снабжен многочисленными иллюстрациями. Основные результаты диссертационной работы являются новыми и строго обоснованными. Они опубликованы в 23 печатных работах, 6 из которых в журналах из перечня ВАК РФ. Автореферат правильно отражает суть работы и соответствует диссертации.

По работе имеются следующие замечания:

1. В тексте диссертации имеется ряд опечаток и неточностей. Например, на стр. 15 в ссылке на публикации автора в печатных изданиях, рекомендованных ВАК, надо исправить ссылку 20 на 19; а на стр. 24 в правой части формулы (1.6) необходимо заменить производную по радиусу r на производную по времени t и т.п. Встречаются повторное использование одних и тех же символов для обозначения разных величин. Так на стр. 18 R вводится как радиус мембраны, а на стр. 25 переопределяется как искомая функция поперечных перемещений мембраны от координаты r ; h на стр. 18 – это толщина пленки, а конце стр. 33 – коэффициент трения; на стр. 21 в формуле (1.2) μ – это коэффициент Пуассона, а на стр. 48 – угол отклонения плоскости мембраны.

2. В первой и во второй главе диссертационной работы рассматривается модель механической системы с распределенными параметрами. При переходе к конечномерному приближению поперечных перемещений кольцевой мембраны на стр. 37 утверждается, «что 99,9% массы пленочного диска паруса совершает колебания на первых двух гироскопически связанных кососимметрических формах колебаний паруса». Разъяснения, приведенные на стр. 45, не совсем убедительны. Высказывается мысль, что весовые коэффициенты α_{1k}^* «характеризуют степень участия тонов в движении мембраны как твердого тела». Возможно это и так, но не существуют ли такие специально выбранные начальные условия и внешние моменты M_y^{ext} и M_z^{ext} как функции от времени, которые в значительной мере могут возбудить старшие моды колебаний? Для обоснования применимости конечномерной модели, возможно, следовало бы дать в работе численную энергетическую оценку для нескольких старших мод колебаний, на примере рассмотренных в работе управляемых движений КА.

3. В разделе 2.2 рассматриваются движения космической платформы с парусом и силовым гироскопом, угловые скорости прецессии которого изменяются с использованием линейной обратной связи и наблюдателей, предназначенных для восстановления значений некоторых неизмеримых переменных. К сожалению, в диссертации не обсуждаются вопросы управляемости и наблюдаемости исследуемой системы, а также не описан метод и критерий выбора коэффициентов усиления в законе управления.

Тем не менее, указанные выше замечания не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования соискателя.

Диссертация А.В. Зыкова является законченным научным исследованием, имеющим как теоретическую, так и практическую значимость: полученные результаты могут быть применены при разработке систем управления движениями космических аппаратов с формируемыми центробежными силами крупногабаритными конструкциями, при проектировании орбитальных экспериментов по раскрытию как солнечных парусов, так и тросовых систем в существующих и перспективных проектах.

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

Отзыв одобрен и принят на заседании семинара лаборатории механики управляемых систем ИПМех РАН по теории управления и динамике систем под руководством академика Ф.Л. Черноушко 12 ноября 2015 года.

Отзыв составил:

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник ИПМех РАН



Г.В. Костин

Подпись Костина Г.В. заверяю.

Ученый секретарь ИПМех РАН



Е.Я. Сысоева

Официальный сайт ИПМех РАН: www.ipmnet.ru