

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА НА ДИССЕРТАЦИЮ
РУССКИХ СЕРГЕЯ ВЛАДИМИРОВИЧА
«НЕЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА УПРУГИХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ И
УПРАВЛЯЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ»
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ
01.02.04 – «МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА»

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Крупногабаритные космические конструкции различного назначения являются нерегулярными составными управляемыми системами, которые по частям выводятся на орбиту, собираются и развертываются в условиях невесомости и вакуума, являются свободными деформируемыми системами, которые могут совершать большие перемещения и повороты, трансформацию формы и упругие колебания в гравитационном поле Земли. В определенных случаях требуется выполнение прецизионной точности углового положения отдельных частей конструкции и отсутствия нестационарных колебаний при возможных возмущениях. Экспериментальная отработка динамики таких конструкций в наземных условиях представляет большие трудности или вообще невозможна.

Несмотря на достаточно глубокую теоретическую и численную проработку, некоторые задачи нелинейной динамики больших космических конструкций требуют построения уточненных математических моделей и численных алгоритмов решения. Диссертационная работа Русских С.В. посвящена исследованию общих и частных задач, существенно расширяющих и дополняющих уже проведенные исследования в этой области, путем построения новых и уточненных математических моделей и новых эффективных методов расчета. К исследуемым задачам и проблемам относятся: нелинейная динамика плоских составных стержневых систем с тросовыми элементами; нелинейная динамика космических аппаратов с панелями солнечных батарей; динамика развертывания и статика формообразования крупногабаритных космических антенн; терминальное управление колебаниями различных упругих систем. Тема диссертационной работы Русских С.В. и проведенные им исследования являются актуальными.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа Русских С.В. состоит из введения, 6 глав с краткими выводами, общего заключения, списка литературы из 205 позиций. Содержание работы изложено на 324 страницах, включает 213 рисунков и 18 таблиц.

Во ВВЕДЕНИИ анализируется современное состояние проблемы, обсуждаются проведенные исследования по тематике диссертации, формулируется и обосновывается актуальность темы исследования, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ приводятся известные уравнения нелинейной динамики больших упругих космических конструкций в центральном гравитационном поле Земли, записанные в детализированной форме в работах Гришаниной Т.В. и Шклярчука Ф.Н. С их помощью формулируется задача динамики в общем случае пространственного движения растяжимого весомого троса, выпускаемого из подвижного космического аппарата.

Во ВТОРОЙ ГЛАВЕ представлены в общем виде уравнения движения (развертывания) плоской системы последовательно соединенных между собой упругими шарнирами гибких стержней, прикрепленной к свободному космическому аппарату. Нелинейная система дифференциальных уравнений представлена с записью всех коэффициентов для произвольного числа стержневых элементов. Также рассмотрена задача расчета колебаний космического аппарата с прикрепленными многосекционными панелями солнечных батарей при его повороте по крену.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ предложена оригинальная функциональная схема развертываемой космической антенны зонтичного типа. Она представляет собой циклически симметричный каркас, состоящий из многозвенных гибких радиальных стержней, соединенных между собой по параллелям растяжимыми тросовыми элементами. Применительно к этой конструкции рассмотрена задача динамики развертывания из начального транспортировочного положения в пакетах и нелинейная статическая задача формообразования антенны за счет натяжения тросов и сильного изгиба стержней до заданной поверхности вращения.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ формулируется задача термоупругих изгибных колебаний тонкостенного стержня с круглым поперечным сечением (штанги-

удлинителя), который соединен с подвижным космическим аппаратом. При этом стержень подвергается прямому нестационарному солнечному нагреву с учетом изменения углов падения лучей за счет изгиба стержня и его поворота вместе с космическим аппаратом. В связанной задаче теплопроводности и термоупругости учитывается тепловое излучение в космос и теплообмен на внутренней поверхности тонкостенного стержня.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ представлен общий подход получения нелинейных уравнений движения составных систем с использованием геометрических связей между ними и отдельных уравнений движения в собственных подвижных системах координат. В качестве примеров таких подсистем рассматриваются растяжимый трос и гибкий нерастяжимый стержень при геометрически нелинейных деформациях.

В ШЕСТОЙ ГЛАВЕ рассматриваются новые методы решения терминальных задач управления нестационарными колебаниями упругих систем, описываемых в обобщенных координатах, которые совершают за определенное время конечные передвижения и повороты. В частности, предложен оригинальный способ устранения колебаний для линейных систем с постоянными параметрами, совершающих однотипные операции, путем «настройки» их собственных частот. Показано применение метода Бубнова-Галеркина во временной области для управления нелинейными системами и системами с переменными параметрами.

Все проведенные исследования в диссертационной работе дополняются многочисленными примерами расчета с верификацией полученных численных решений и сравнениями с существующими результатами.

Диссертационная работа изложена достаточно ясно и подробно, при этом замечаний к качеству оформления работы и стилю изложения материала нет.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Перечисленные выше исследования, проведенные в диссертационной работе, а также анализ современного состояния проблемы из периодической литературы и важнейших монографий по профилю работы, позволяют сделать заключение, что полученные автором результаты являются новыми и вносят крупный вклад в решение рассматриваемых проблем.

ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Положенные в основу разработанных автором математических моделей строгие методы механики деформируемого твердого тела, проведенные оценки и сравнения результатов с известными частными задачами, использование верифицированных стандартных программ интегрирования систем нелинейных дифференциальных уравнений, обеспечивают достоверность результатов, опубликованных в диссертационной работе Русских С.В.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Представленные автором аналитические и численные результаты могут быть использованы для отработки процессов трансформации (в том числе развертывания) больших космических конструкций на орбите, могут служить основой для создания легких и компактных в сложенном состоянии космических антенн зонтичного типа, а также стать теоретической основой для создания эффективных методов и алгоритмов управления нестационарными колебаниями сложных упругих систем.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ И АПРОБАЦИЯ

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 17 научных статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК, из которых следует выделить 5 работ из баз данных Scopus и Web of Science. В процессе работы над диссертацией Русских С.В. со своим научным консультантом выпустил учебное пособие по теме диссертации для обучения в магистратуре. Содержание диссертации полностью соответствует опубликованным работам.

Апробация работы была выполнена при выступлениях с докладами на достаточно авторитетных и известных симпозиумах и конференциях в 2014 – 2021 годах.

АВТОРЕФЕРАТ

Стиль изложения материала в автореферате, его объем и содержание дают четкое представление о диссертационной работе, а также позволяют сделать вывод о его полном соответствии основному тексту диссертации.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. В комментариях к приведенным в диссертации примерам численных решений задач следовало бы пояснить, из каких соображений выбирались те или иные исходные данные. Соответствуют ли они реальным физико-геометрическим параметрам конструкций, или же выполненные расчеты были чисто «модельными».

2. В работе следовало бы указать время, затрачиваемое на компьютерные вычисления в рассмотренных примерах. Это важно с точки зрения возможности проведения соответствующих расчетов с помощью бортовой вычислительной системы в режиме реального времени.

3. Для соблюдения формальной строгости изложения материала следовало бы при формулировках общих математических постановок задач, наряду с уравнениями, указывать соответствующие начальные условия. В работе же эти условия указывались при рассмотрении конкретных примеров.

4. При раскрытии многозвенных стержневых систем с упругими предварительно напряженными пружинами в шарнирных соединениях звеньев с фиксирующими упорами при выходе на упор будет происходить ударное взаимодействие. В работе приведены результаты численного решения таких задач, однако особенности «ударного взаимодействия» и их влияние на разворачивание системы не обсуждается.

5. Замечание редакционного характера. Имеются некоторые неточности в тексте диссертации, связанные с опечатками или неудачными обозначениями. Например, на стр. 69 перепутан термин при обозначении изменения длины троса; на стр. 175 опечатка в формуле (4.1.1); на рис. 3.3.5, 3.3.7 не обозначены оси координат. Заметим также, что более наглядным было бы на стр. 147, 149 указать не абсолютные, а относительные значения отклонений формы стержня от участка параболы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Несмотря на указанные замечания, считаю, что диссертация Русских Сергея Владимировича выполнена на высоком научном уровне, а полученные результаты являются новыми и представляют научный и практический интерес.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация Русских Сергея Владимировича является законченной самостоятельной научно-

квалификационной работой, посвященной решению актуальных задач нелинейной механики упругих и управляемых космических конструкций, а ее результаты существенно расширяют и дополняют эту область знаний.

Диссертация Русских Сергея Владимировича на тему «Нелинейная механика упругих трансформируемых и управляемых космических систем» соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор обладает необходимой квалификацией и заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник Лаборатории 202 (динамических испытаний)
НИИ Механики ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»

ПШЕНИЧНОВ Сергей Геннадиевич

См 22.09.2021г.

Специальность ВАК: 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела
119192, г. Москва, Мичуринский проспект, д. 1
+7 (916) 371-98-82, serp56@yandex.ru

ПОДПИСЬ ПШЕНИЧНОВА С.Г. ЗАВЕРЯЮ.

Ученый секретарь НИИ механики ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»

РЯЗАНЦЕВА Марина Юрьевна



РЯЗАНЦЕВА
22.09.2021