

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор –  
проректор по научной работе  
федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего  
профессионального образования

«Московский государственный  
технический университет  
имени Н.Э. Баумана», д.т.н., с.н.с.



В.Н. Зимин

07

2016 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования «Московский государственный  
технический университет имени Н.Э. Баумана»  
на диссертацию Жукова Андрея Петровича  
«Динамика отражающей поверхности крупногабаритного зонтичного  
рефлектора космического аппарата»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности  
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

#### **Актуальность темы исследования диссертации**

Современные спутниковые системы космической связи содержат крупногабаритные антенны. Такие антенны обладают большим коэффициентом усиления и высоким угловым разрешением. Однако конструкция космического аппарата с крупногабаритным рефлектором обладает малым уровнем жесткости относительно нестационарных возмущений, создаваемых работой различных систем и механизмов аппарата, находящегося в условиях космического полета. Под действием возмущений форма отражающей поверхности может деформироваться, а рефлектор смещаться относительно рабочего положения. Все это будет существенно

влиять на радиотехнические характеристики рефлектора. Таким образом, сохранение формы отражающей поверхности крупногабаритной рефлекторной антенны при действии нестационарных возмущений, является одной из важных проблем, которую необходимо решить разработчикам спутниковых систем связи. Сложность этой проблемы состоит в том, что невозможно провести адекватные экспериментальные наземные исследования, поэтому требуется использование методов численного анализа. Расчетная модель космического аппарата должна учитывать все элементы конструкции, включая отражающую поверхность крупногабаритного рефлектора антенны. Создание таких расчетных моделей и проведение на их основе численных экспериментов, моделирующих динамическое поведение отражающей поверхности рефлектора, является актуальной задачей.

### **Общая характеристика работы**

Целью диссертации является разработка математической и расчетной моделей нежесткого космического аппарата с крупногабаритным зонтичным рефлектором и исследование динамического поведения отражающей поверхности рефлектора при действии на космический аппарат нестационарных возмущений.

Диссертационная работа Жукова А.П. содержит введение, пять глав, заключение и список литературы из 154 наименований, имеет объем в 156 страниц машинописного текста, включая 5 таблиц и 75 рисунков. Структура работы логична и последовательна, соответствует цели и задачам исследования. По объему, структуре и стилю изложения диссертационной работы замечаний не возникает.

**Во введении** представлен обзор, в котором приведены основные типы крупногабаритных трансформируемых рефлекторов, и решаемые задачи, связанные с вопросами разработки и анализа таких конструкций, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе**, представлена физическая модель крупногабаритного зонтичного рефлектора и космического аппарата в целом, обоснован выбор параметров физической модели, оценены нагрузки, действующие на космический аппарат, находящийся на геостационарной орбите, введены необходимые упрощения физической модели.

**Во второй главе** представлена математическая постановка задачи движения нежесткого космического аппарата под действием нестационарных возмущений. Формулировка начальных условий учитывает предварительное напряженное состояние конструкции зонтичного рефлектора и способ крепления рефлектора к корпусу космического аппарата. Приведено описание используемых численных методов расчетов.

Параметризованная расчетная модель нежесткого космического аппарата реализована в программном комплексе, созданном на основе конечноэлементного пакета ANSYS. Программный код написан на встроенном языке программирования APDL. Приведена структура программного комплекса.

**В третьей главе,** на основе решения последовательности тестовых задач, подтверждена достоверность расчетной модели нежесткого космического аппарата с зонтичным рефлектором. Проанализирована возможность применения типов элементов из библиотеки ANSYS для решения динамических задач. Результаты исследования сопоставлены с данными экспериментов и численными расчетами других авторов. Исследована сходимость численного решения задачи движения нежесткого космического аппарата на сгущающихся сетках как по пространству, так и по времени. Результаты верификации подтверждают достоверность численной модели.

**В четвертой главе** представлены результаты исследования динамического поведения отражающей поверхности зонтичного рефлектора на действия различных видов возмущений. Основным результатом этого исследования является определение соотношений между параметрами возмущений и динамическими характеристиками (собственные частоты и формы колебаний) космического аппарата, при которых динамические отклонения отражающей поверхности рефлектора от стационарного состояния будут минимальны.

**В пятой главе** предлагается метод активного демпфирования колебаний космического аппарата. Демпфирование колебаний обеспечивается управляемым изменением жесткости штанги, которая соединяет рефлектор с корпусом космического аппарата. Изменение жесткости штанги, которая представляет тонкостенную трубу, осуществляется путем приложения давления к ее внутренней поверхности, причем полагалось, что давление прикладывалось равномерно по всей

внутренне поверхности. Результаты численного моделирования показали работоспособность предлагаемого метода активного демпфирования.

**Научная новизна.** Новыми результатами, полученными соискателем, следует считать следующие:

– математическую модель движения нежесткого космического аппарата с крупногабаритным зонтичным рефлектором на основе геометрически нелинейной системы уравнений движения деформируемого твердого тела, с начальными условиями, учитывающими предварительно напряженное состояние конструкции рефлектора.

– метод получения начальных условий для численного решения задачи движения нежесткого космического аппарата при различных способах крепления крупногабаритного зонтичного рефлектора;

– формулировку условия согласования параметров возмущения с собственными частотами нежесткого космического аппарата, при выполнении которого динамическое отклонение отражающей поверхности рефлектора от стационарного положения минимально.

**Практическая значимость полученных результатов** заключается в том, что модели, методы, компьютерные программы, разработанные в рамках выполнения диссертационной работы, использовались при разработке новой космической техники АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

**Достоверность** полученных результатов подтверждается строгостью математической постановки задач, верифицированными расчетными моделями, использованием апробированных методов решения.

**Публикация основных результатов диссертации в научной печати.** По теме диссертации соискателем опубликовано 8 работ, в том числе 5 в рецензируемых научных изданиях из списка, рекомендованного ВАК Министерства образования и науки для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В работе отсутствуют четкие доводы о необходимости рассмотрения динамического поведения зонтичного рефлектора с позиций геометрической нелинейности, в частности, при решении собственной задачи и при исследовании импульсного воздействия на конструкцию.

2. В работе рассмотрена реакция зонтичного рефлектора на ряд импульсных воздействий. Известно, что основное влияние на реакцию упругой системы на воздействие импульсов различной формы обусловлено соотношением длительности импульса и периодами собственных колебаний. К сожалению, подобный анализ в работе не представлен.

3. Не следует использовать термин "декремент затухания" (стр. 134), так как декремент—это затухание. Следует использовать термины декремент колебаний, логарифмический декремент колебаний.

### **Заключение**

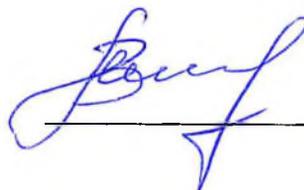
Диссертационная работа Жукова Андрея Петровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи о динамике отражающей поверхности крупногабаритного зонтичного рефлектора космического аппарата при действии нестационарных возмущений, имеющее существенное значение для развития механики деформируемого твердого тела и, таким образом, соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней». Результаты проведенной автором научной работы можно характеризовать как теоретически обоснованное исследование, представляющее интерес для специалистов в указанной области. Сделанные замечания не умаляют достоинств и не снижают общей положительной оценки, представленной научно-квалификационной работы.

Выводы обоснованы. Текст автореферата полностью отражает содержание диссертации. Результаты исследований, представленных в диссертации, опубликованы в 8 печатных работах, в том числе 5 статьях в рецензируемых научных изданиях из списка, рекомендованного ВАК РФ. Опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертации.

Диссертационная работа отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Жуков Андрей Петрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию Жукова А.П. рассмотрены и одобрены на заседании НТС Научно-исследовательского института специального машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана, протокол №. 61, от 18.07.2016 г.

Заведующий отделом  
«Крупногабаритные космические конструкции»  
Научно-исследовательского института  
специального машиностроения  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

  
В.Е. Мешковский

Мешковский Виталий Евгеньевич  
Заведующий сектором  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

  
И.М. Колосков

Колосков Игорь Михайлович  
Ученый секретарь,  
кандидат технических наук

  
А.В. Смирнов

Смирнов Алексей Владимирович

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Тел.: +7 (499) 261-21-88

Эл. почта: [niism@bmstu.ru](mailto:niism@bmstu.ru)

Web сайт: <http://bmstu.ru/>