

Отзыв

официального оппонента о диссертационной работе

Жукова Андрея Петровича

«Динамика отражающей поверхности

крупногабаритного зонтичного рефлектора космического аппарата», представленной на

соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела

Актуальность. Космические аппараты с крупногабаритными рефлекторными антеннами являются важнейшими компонентами современных систем космической связи. Конструкция таких рефлекторов представляет легко деформируемый вантово-стержневой силовой каркас, на котором в растянутом виде закреплена отражающая поверхность, изготовленная из тонкой металлизированной ткани. В условиях орбитального полета такой рефлектор с высокой точностью должен сохранять заданную форму отражающей поверхности. Однако, из-за невысокой жесткости, как силового каркаса рефлектора, так и космического аппарата в целом, отражающая поверхность может деформироваться и смещаться относительно оптимального положения под действием механических возмущений, создаваемых системой управления космического аппарата. Вопросы динамического поведения отражающей поверхности крупногабаритных рефлекторов, его зависимость от параметров возмущения, методы демпфирования возбуждаемых колебаний – все это представляет несомненный научный и практический интерес. Сложность таких задач диктует необходимость обращаться к методам численного моделирования, причем разрабатываемые математические и численные модели должны рассматривать крупногабаритный рефлектор как часть механической системы космического аппарата. Исходя из вышесказанного, можно заключить, что тема диссертационной работы Жукова А.П., связанная изучением динамического поведения отражающей поверхности крупногабаритного зонтичного рефлектора на основе созданных математической и численной моделей нежесткого космического аппарата, является безусловно актуальной.

Диссертационная работа включает введение, пять глав, заключение и список литературы, который содержит 154 источника.

Во введении представлен обзор российских и зарубежных исследователей по основным вопросам разработки и анализа конструкций крупногабаритных рефлекторов, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, основные задачи, научная и практическая значимость работы, а так же положения выносимые на защиту.

Первая глава посвящена выбору параметров физических моделей крупногабаритного зонтичного рефлектора и нежесткого космического аппарата в целом. Оцениваются нагрузки, действующие на космический аппарат, находящийся на геостационарной орбите. Представлены некоторые упрощения физической модели.

Вторая глава содержит математическую модель, построенную на основе нестационарных, геометрически нелинейных уравнений МДТТ. Предложена постановка начальных условий, которые учитывают преднапряженное состояние конструкции зонтичного рефлектора и способ крепления рефлектора к корпусу космического аппарата. Приведено описание структуры программного комплекса, реализующего постановку задачи деформирования и колебания рефлектора относительно космического аппарата. Данный программный комплекс создан в рамках конечноэлементного пакета ANSYS. Программный код пакета написан на встроенном в ANSYS языке программирования APDL. Следует отметить, что использование набора примитивов, предоставляемых пакетом ANSYS, в которых инкапсулированы различные сущности (физические, геометрические, вычислительные и др.), в сочетании со встроенным языком программирования, позволяет строить параметризованные модели и организовывать вычислительные процессы высокой степени сложности. Однако, для подтверждения корректности получаемых численных результатов необходима предварительная верификация численной модели, чему автор посвятил третью главу диссертации.

Третья глава посвящена верификации численной модели нежесткого космического аппарата с зонтичным рефлектором, путем решения набора тестовых задач. Проверена применимость используемых типов одно – и двумерных элементов из библиотеки ANSYS, как по отдельности, так и совместно для решения тестовых задач в динамической постановке. Исследовалась сходимость численного решения задачи движения нежесткого космического аппарата на сгущающихся пространственных сетках. Результаты тестовых расчетов сравнивались с результатами, полученными другими авторами, а также, с аналитическим решением. Хорошая корреляция сравниваемых результатов подтверждает достоверность, реализованной автором численной модели.

Четвертая глава посвящена анализу полученных результатов численного параметрического исследования реакции отражающей поверхности зонтичного рефлектора на действия различных видов возмущений, приложенных к корпусу нежесткого космического аппарата. Варьировались параметры возмущений, свойства элементов конструкции рефлектора и космического аппарата были постоянны. В качестве величины, характеризующей динамическое поведение отражающей поверхности, выбрана величина ее относительного среднеквадратичного отклонения. Абсолютная величина среднеквадратичного отклонения интегрально характеризует геометрическое качество отражающей поверхности (степень

соответствия форме идеального параболоида). Показано, что изменение величины среднеквадратичного отклонения зависит от параметров возмущений и колебаний.

Основным результатом данной главы является тот факт, что при согласовании временных параметров возмущения с периодами возбуждаемых колебаний могут отсутствовать остаточные колебания (колебания механической системы после окончания действия возмущения) отражающей поверхности.

Пятая глава посвящена исследованию метода активного демпфирования колебаний космического аппарата на основе управляемого изменения жесткости полой штанги, соединяющей рефлектор с корпусом космического аппарата, при ее наддуве внутренним давлением. Зависимость жесткости штанги от давления наддува определялась по результатам численного моделирования, как по величине статического прогиба, так и по периоду свободных колебаний штанги, закрепленной за один из концов. При численном моделировании процесса активного демпфирования в сценарий нагружения вводился нестационарный закон изменения жесткости штанги, согласующий ее величину с фазами колебаний. Полученные результаты показали принципиальную работоспособность предлагаемого метода активного демпфирования. Полагалось, что давление наддува прикладывалось мгновенно по всей внутренней поверхности штанги. Такой подход можно считать допустимым на этапе подтверждения принципиальной работоспособности метода. Следует заметить, что методы активного демпфирования, основанные на других физических принципах (например, пьезодемпфирование), также допустимо рассматривать с позиций эффективного изменения жесткости. Поэтому данная методика численного моделирования активного демпфирования является в достаточной степени универсальной.

В заключении диссертации автором сформулированы основные результаты работы и выводы, отражающие **научную новизну и значимость**:

– математическая модель нежесткого космического аппарата с крупногабаритным зонтичным рефлектором на основе геометрически нелинейной системы уравнений движения деформируемого твердого тела;

– постановка начальных условий, в которых учитывается напряженное состояние конструкции рефлектора, обусловленное предварительной настройкой его отражающей поверхности, с учетом различных способов крепления рефлектора к корпусу космического аппарата;

– условие согласования временных параметров возмущения с периодом возбуждаемых колебаний космического аппарата, при выполнении которого динамическое отклонение отражающей поверхности рефлектора от оптимального положения минимально;

– метод активного демпфирования колебаний нежесткого космического аппарата, использующий свойство полой штанги, соединяющей рефлектор с корпусом, изменять изгибную жесткость при ее наддуве внутренним давлением, и подтверждение его работоспособности результатами численных экспериментов.

Диссертационная работа имеет **практическую значимость**, т.к. созданные в ее рамках модели, методы, вычислительные программы, применялись АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» при разработке новой космической техники.

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.

По диссертационной работе Жукова А.П. имеются **некоторые вопросы и замечания**:

1. Полученные результаты относятся к конкретному типу рефлектора, с определенными размерами. В связи с этим возникает вопрос о влиянии масштабных факторов на динамику отражающей поверхности.

2. В условиях орбитального полета элементы конструкции рефлектора и космического аппарата подвергаются неравномерному и нестационарному тепловому нагреву. При этом меняются как физико-механические свойства материалов, так и напряженно-деформированное состояние самой механической системы. Работа, несомненно, выиграла, если бы автор привел оценку влияния теплового состояния конструкции на динамику отражающей поверхности рефлектора.

3. Во второй главе, автор подробно представил технологию получения начальных условий, однако вопрос о граничных условиях представлен сжато.

Сформулированные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Работа написана ясным научным языком. Цели и задачи исследования, поставленные в диссертации, были достигнуты.

Автореферат диссертации полностью отражает ее основное содержание, актуальность заявленной темы, цель и задачи, научную новизну полученных результатов и выводов. Диссертация Жукова А.П. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу. Диссертация соответствует паспорту специальности 01.02.04, а именно пунктам: 7 – Постановка и решение краевых задач для тел различной конфигурации и структуры при механических, электромагнитных, радиационных, тепловых и прочих воздействиях, в том числе применительно к объектам новой техники; 8 – Математические модели и численные методы анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования.

Диссертация «Динамика отражающей поверхности крупногабаритного зонтичного рефлектора космического аппарата» удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Жуков Андрей Петрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,
младший научный сотрудник лаборатории физики нелинейных сред
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук

634055, г. Томск,
пр. Академический, д. 2/4,
т. +7 (3822) 49-18-81,
www.ispms.ru,
E-mail: root@ispms.tomsk.ru,
кандидат физико-математических наук
(01.02.04 –Механика деформируемого твердого тела)

Козлова Мария Александровна

"2" сентября 2016г.

Подпись Козловой Марии Александровны заверяю

Ученый секретарь
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук,
доктор технических наук



Плешанов В.С.