

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 20 ____ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Совершенствование методик имитации нулевой гравитации для раскрытия
крупногабаритных трансформируемых систем высокоэнергетических
космических аппаратов»
тема

15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
код и наименование направления

15.04.05.02 Технология космических аппаратов
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	доцент кафедры МБК ПФКТ, канд. техн. наук	_____	Г.В. Двирный
	подпись, дата	должность, ученая степень		инициалы, фамилия
Выпускник	_____			<u>Д.А. Костюченков</u>
	подпись, дата			инициалы, фамилия
Рецензент	_____	нач. группы отд. 330 АО «ИСС» канд. техн. наук	_____	<u>А.В. Машуков</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень		инициалы, фамилия

Красноярск 2016

Продолжение титульного листа МД по теме «Совершенствование методик имитации нулевой гравитации для раскрытия крупногабаритных трансформируемых систем высокоэнергетических космических аппаратов»

Консультанты по разделам:

Исследование предметной области и постановка задачи

Наименование раздела

подпись, дата

Г.В. Двирный
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

Е.С.Сидорова
инициалы, фамилия

Студенту: Костюченкову Даниле Анатольевичу

Группа: МТ 14-04 М

Направление (специальность): 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Тема выпускной квалификационной работы: «Совершенствование методик имитации нулевой гравитации для раскрытия крупногабаритных трансформируемых конструкций высокоэнергетических космических аппаратов

Утверждена приказом по университету № 15487/с от 01.12.2014 г.

Руководитель ВКР: Двирный Гурий Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры МБК ПФКТ СФУ.

Исходные данные для ВКР: Рассмотреть методы имитации нулевой гравитации для раскрытия крупногабаритных трансформируемых систем высокоэнергетических космических аппаратов.

Рассмотреть панели батарей солнечных спутника связи типа «Экспресс-2000».

Разработать оборудование для обезвешивания панелей батарей солнечных.

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР): Анализ методов имитации нулевой гравитации выбор способа обезвешивания панелей батарей солнечных и разработка стенда. Расчеты пружин, расчеты на прочность, моделирование раскрытия батарей солнечных. Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов: слайды презентации в количестве 15 штук.

Руководитель ВКР

подпись

Г. В. Двирный
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

Д. А. Костюченков
инициалы, фамилия

«_____» _____ 2016г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Совершенствование методик имитации нулевой гравитации для раскрытия крупногабаритных трансформируемых систем высокоэнергетических космических аппаратов» содержит 129 страниц текстового документа, 30 использованных источника.

Испытания узлов и систем космического аппарата на функционирование являются неотъемлемой частью проведения наземной экспериментальной отработки. В частности, для избежания многочисленных отказов в полете за счет обнаружения возможных отказов во время наземных испытаний, уделяется особое внимание испытаниям механизмов раскрытия. Ряд вопросов, относящихся к правильному функционированию раскрываемых систем, не может быть полностью решен при помощи только аналитического метода, особенно это касается испытаний конструкций, которые не способны поддерживать собственный вес в условиях земной гравитации, например, таких как испытания МУ БС.

Таким образом, рабочее место для сборки и испытания панелей БС КА должно обеспечивать имитацию невесомости при проведении сборочных работ панелей БС и при испытательных работах их механизмов раскрытия.

Темой моей диссертации является разработка стенда для сборки и испытания панелей БС, который обладает рядом достоинств по сравнению с прошлыми разработками. А также, использование данного рабочего места позволит проводить работы как с существующими, так и с перспективными панелями БС.

THE ABSTRACT

Master's thesis on «Improving methods simulate zero gravity for the disclosure of large transformable structures of high-spacecraft».

- contains 128 pages of text document, 30 sources used.

Spacecraft Tests components and systems are integral to the functioning of terrestrial experimental testing. In particular, in order to avoid multiple failures in flight due to the detection of possible failures during ground tests, special attention tests disclosure mechanisms. A number of issues relating to the proper functioning of the disclosed systems can not be fully resolved only by means of the analytical method, especially for test designs, which are not capable of supporting its own weight in the earth's gravity, for example, such as testing the BS MOU.

Thus, the workplace for the assembly and testing of spacecraft BS panels should provide simulated weightlessness during assembly work BS panels and test papers of disclosure mechanisms.

The topic of my thesis is to develop a stand for the assembly and testing BS panels, which has a number of advantages compared to previous developments. Also, the use of the workstation will allow for operation with both existing and prospective panels with the BS.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 Объект испытаний - космический аппарат с панелями солнечных батарей.	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Конструктивно-компоновочная схема	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Место панелей БС в КА.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.3 Система электропитания	Ошибка! Закладка не определена.
1.4 Механические устройства	Ошибка! Закладка не определена.
2 Наземная экспериментальная отработка	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Анализ имеющихся схем НЭО	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Подтверждение требуемых характеристик КА при НЭО и в процессе летных испытаний.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Направления оптимизации объемов наземно-экспериментальной отработки.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.4 Общие принципы оптимизации наземно-экспериментальной отработки	Ошибка! Закладка не определена.
2.5 Технология испытания узлов и систем космического аппарата на функционирование.....	Ошибка! Закладка не определена.
3 Испытания механических устройств. Системы имитации нулевой гравитации.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Методы имитации нулевой гравитации при наземно- экспериментальной отработке трансформируемых крупногабаритных конструкций космического аппарата	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Имитация нулевой гравитации с помощью бассейна нейтральной плавучести.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.4 Имитация нулевой гравитации методом воздушной подушки ..	Ошибка! Закладка не определена.
3.5 Имитация нулевой гравитации методом свободного падения...	Ошибка! Закладка не определена.

- 3.6 Имитация нулевой гравитаций механическим способом— стенды (специальное оборудование)..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.7 Косая вывеска..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.8 Погрешности в усилии обезвешивания**Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.9 Поворотная балка с вывеской..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.10 Поворотная балка с установленной на неё кареткой на направляющей **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.11 Поворотная балка с установленной на неё направляющей с использованием каретки и трособлочной системой**Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.12 Каретка на направляющей с вывеской**Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.13 Каретка на направляющей с трособлочной системой.....**Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.14 Анализ параметров настройки устройств имитации невесомости и степень их влияния на ОИ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4 Разработка универсального стенда для сборки и испытаний панелей солнечных батарей космического аппарата.**Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.1 Назначение системы **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.2 Основные требования к конструкции стенда**Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.3 Состав и краткое описание системы**Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.4 Этапы раскрытия..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 1.14.5 Комплектность системы имитации невесомости **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.6 Основные технические требования к элементам конструкции стенда **Ошибка! Закладка не определена.**
5. Расчетная часть..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.1 Выбор пружин **Ошибка! Закладка не определена.**

5.2 Расчет на прочность.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4 Расчет допустимых усилий трения кареток универсального стенда для раскрытия механических устройств солнечной батареи	Ошибка! Закладка не определена.
5.5 Определение степени влияния универсального стенда на процесс раскрытия МУ БС.....	Ошибка! Закладка не определена.
Выводы	120
Заключение	122
Список соращений	123
Список использованных источников	126

ВВЕДЕНИЕ

Объем информации, циркулирующей по всевозможным каналам связи в современном промышленно развитом государстве, примерно пропорционален потенциалу последнего.

Интенсификация развития, взаимосвязь и взаимообусловленность нормального функционирования всех звеньев хозяйственной деятельности государства выдвигает на первый план задачу автоматизированного управления, использующего высокоэффективные системы связи и обмена данными. Телефония, телеграфия, радиовещание, телевидение, передача различных справочных и других материалов из банка данных, обмен информацией в больших системах автоматизированного управления и глобальных информационных сетях – вот далеко не полный перечень задач, решаемых техникой связи в наши дни. В арсенале средств, предназначенных для передачи всевозможных видов информации, используемых в самых различных сферах деятельности, всевозрастающую роль играют спутниковые каналы связи. Спутник связи может быть использован для непосредственной связи, если его можно одновременно наблюдать из тех наземных пунктов, между которыми предполагается установить связь. Также спутник связи, может быть использоваться как запоминающее устройство, быстро перемещающееся в пространстве и обеспечивающее связь с задержкой (электронная почта).

С момента возникновения первых радиотехнических средств и до сегодняшней эры космической связи, существует проблема обеспечения качества и надежности работы связных систем. В настоящее время поставщик космических услуг, желающий добиться коммерческого успеха, для достижения поставленных целей вынужден не только закладывать в свои

Изделия высокие тактико-технические характеристики, надежность работы и срок активного существования, но и подтверждать их заказчику до выведения космического аппарата на орбиту, проверяя его работу в

условиях, близких к штатным условиям эксплуатации. Современный космический аппарат, до начала своей эксплуатации должен выдержать ряд жестких операций по воздействию вибрации, пониженного давления, широкодиапазонного перепада температур и не утратить своих способностей к функционированию.

Проведение испытаний это сложный процесс, включающий в себя: разработку испытательного оборудования, отработку методики испытаний, транспортирование КА и его частей к месту испытания.

Среди множества задач, решаемых в процессе проектирования и изготовления КА, особое место занимает наземная экспериментальная отработка (НЭО) лабораторных и натуральных образцов, которая позволяет подтвердить правильность полученных расчетным путем решений, определить фактическое состояние конструкции, оценить работоспособность систем в условиях близких к эксплуатационным.

НЭО КА неразрывно связана с применением уникальных испытательных установок, необходимых для изучения поведения конструкции в условиях дестабилизирующих факторов внешней среды. В состав комплекса испытательных средств входят вибрационные и ударные стенды, реверберационная (акустическая) камера, стенды для статических испытаний (СТИ) и контроля раскрытия механических систем (МС), измерительно-вычислительные системы для сбора и обработки экспериментальных данных.

Испытания узлов и систем космического аппарата на функционирование являются неотъемлемой частью проведения наземной экспериментальной отработки. В частности, для избежания многочисленных отказов в полете за счет обнаружения возможных отказов во время наземных испытаний, уделяется особое внимание испытаниям механизмов раскрытия. Ряд вопросов, относящихся к правильному функционированию раскрываемых систем, не может быть полностью решен при помощи только аналитического метода, особенно это касается испытаний конструкций,

которые не способны поддерживать собственный вес в условиях земной гравитации, например, таких как испытания МУ БС.

Таким образом, рабочее место для сборки и испытания панелей БС КА должно обеспечивать имитацию невесомости при проведении сборочных работ панелей БС и при испытательных работах их механизмов раскрытия.

Темой моей диссертации является разработка стенда для сборки и испытания панелей БС, который обладает рядом достоинств по сравнению с прошлыми разработками. А также, использование данного рабочего места позволит проводить работы как с существующими, так и с перспективными панелями БС.

[изъято 1-5 главы]

ВЫВОДЫ

В настоящем проекте мною была предложена разработка рабочего места для проведения работ по сборке и испытанию МУ панелей БС.

Разработана универсальная система обезвешивания пакетов панелей БС, позволяющая проводить сборку и испытания панелей БС различной конфигурации и с различной логикой раскрытия.

При проектировании рабочего места и универсальной системы обезвешивания были использованы передовые научные наработки и длительный опыт эксплуатации подобных стендов имитации невесомости.

Разработанная мною универсальная система имитации невесомости обладает оригинальной конструкцией. Данная конструкция принципиально отличается от своих аналогов, и представляет собой особую конструкцию, закрепленную к силовому порталу, многоуровневую систему направляющих с различными вывесками и каретками, способными совершать продольно-поперечное перемещение при раскрытии панелей БС. Данная конструкция позволяет проводить работы на данной системе обезвешивания с пакетами панелей БС различной конфигурации и логикой раскрытия. А также позволяет проводить раскрытие боковых панелей.

Определены допустимые значения усилий страгивания и прокатки кареток универсального стенда под рабочей нагрузкой крыла БС.

Суммарный момент сопротивления стенда с усилиями трения кареток по табл. 3, меньше допустимого (25%) и составляет 23% от суммарного движущего момента пружинных приводов.

Определены параметры функционирования крыла БС при раскрытии на стенде с допустимыми усилиями трения кареток. Все ШУ зачековываются, логика раскрытия сохраняется. Время зачековки и средние значения угловых скоростей при раскрытии на стенде сопоставимы с значениями при штатном раскрытии в условиях невесомости.

При работах с крылом БС усилия трения кареток универсального стенда не должны превышать значений, приведенных в таблице 3.

Сопровождающий пояснительную записку графический материал, показывает последовательность проведенных работ и их наглядность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленная передо мною задача по совершенствованию методик имитации нулевой гравитации - выполнена полностью. Использование разработанного мною универсального рабочего места позволит производить работы как с существующими панелями БС, так и с перспективными.

СПИСОК СОРАЩЕНИЙ

- АБ - аккумуляторная батарея;
- АИ - автономный источник;
- АСУ - автоматическая система управления;
- АФУ - антенно-фидерные устройства;
- БАУС - бортовая аппаратура угломерной системы;
- БАМИ - бортовая аппаратура межспутниковых измерений;
- БИНС - бортовой источник навигационного сигнала;
- БИУС - блок измерения угловой скорости;
- БКУ - бортовой комплекс управления;
- БРКС - бортовой радиокomплекс спасения;
- БРТК - бортовой радиотехнический комплекс;
- БРТР - бортовой ретранслятор;
- БРОИ - блок регистрации;
- БС - батарея солнечная;
- БУК - блок управления короткозамкательями;
- БХП - блок хранения и подачи;
- БЦВМ - цифровая вычислительная машина;
- ВОС - вакуумно-откачная система;
- ГЖ - горючая жидкость;
- ДБ - двигательный блок;
- ДУ - двигательная установка;
- ЗИ - завод изготовитель;
- ИОТ - инструкция по охране труда;
- ИСЗ - искусственный спутник Земли;
- КА - космический аппарат;
- КДИ - конструкторско-доводочные испытания;
- ККС - конструктивно-компоновочная схема;
- КНС - космическая навигационная система;

КИС - командно-измерительная система;
КМС - комбинированный моделирующий стенд;
КОВИ - комплект оборудования высокочастотных испытаний;
КПЭО - комплексная программа экспериментальной отработки
(КПЭО);
КЭМ - конечно-элементная модель;
ЛВЖ - легковоспламеняющаяся жидкость;
ЛИ - летные испытания;
ЛОИ - лабораторно-отрабочные испытания;
МПН - модуль полезной нагрузки;
МС - механические системы;
МСС - модуля служебных систем;
МУ - механические устройства;
НЭО - наземная экспериментальная отработка;
ОРАС - оптическая ретрорефлекторная антенная система;
ПИСК - построитель инерциальной системы координат;
ПОЗ - прибор ориентации на Землю;
ПОС - прибор ориентации на Солнце;
ПРД - передатчик;
ПРМ - приемник;
ПРИ - предварительные испытания;
ПСК - приборная система координат;
ИСК - инерциальная система координат;
РИ - ресурсные испытания;
РМ - рабочее место;
РН - ракетоноситель;
САС - срок активного существования;
СВИ - система виброизмерений;
СВО - система внутри камерного оборудования;
СВИ - испытания на специальные воздействия;

СК - система коррекции;
СО - системы отделения;
СОС - система стабилизации и ориентации;
СПА - система поворота антенн;
СТИ - статические испытания;
СТР - система терморегулирования;
СЭП - система электропитания;
ТК - технический комплекс;
ТЗ - технические задания;
ТТ - тепловые трубы;
УО - устройство отделения;
УПБС - поворотное устройство солнечных батарей;
ЭВТИ - экранно-вакуумная теплоизоляция;
ЭМИО - электромеханический исполнительный орган;
ЭСГ - электростатические гироскопы;
ЭВТИ - экранно-вакуумная теплоизоляция;
ЭМС - электромагнитная совместимость;
ЭО - эксплуатирующая организация.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя: в 3-х т.: / В.И.Анурьев – М.: Машиностроение, 2001. - Т. 1. – 920 с.
- 2 Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя: в 3-х т.: В.И.Анурьев – М.: Машиностроение, 2001. - Т. 2.– 912 с.
- 3 Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя: в 3-х т.:– М.: Машиностроение, 2001. - Т. 3. – 910 с.
- 4 Бигер, И.А. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И.А. Бигер – М.: Машиностроение, 2003. – 639 с.
- 5 Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения: учебное пособие для вузов / И. М.Колесов – М.: Высшая школа, 2005.– 591 с.
- 6 Космические вехи: сборник научных трудов, посвященных 50-летию созданию АО «ИСС» имени академика М.В. Решетнева. - Красноярск, ИП Суховольская Ю.П.,2009. – 704с.
- 7 Криогенная техника: научный сборник / ред. Б.И.Веркин. – Киев: Наук. Думка, 2001. – 184 с.
- 8 Мелуа, А.И. Ракетная и космическая техника: учебное пособие/А.И.Мелуа. –Санкт-Петербург: Гуманистика, 2003.– 158 с.
- 9 Марочник сталей и сплавов: учебное пособие для студентов вузов / В.Г.Сорокин [и др.] ; отв. ред. В.Г.Сорокин. - М.: Машиностроение , 2005. – 639 с.
- 10 Максимов, Г. Ю. Теоретические основы разработки космических аппаратов: учебнике /Г. Ю.Максимов – М.: Наука, 2004. – 320 с.
- 11 Обработка металлов резанием: справочник технолога/ А.А.Панов, В.В.Аникин, Н.Г.Бойм и др.; ред. А.А.Панов. 2–е изд., перераб. И доп.– М.: Машиностроение , 2004. – 784с.
- 12 Справочник по сопротивлению материалов: справочное пособие/ Г.С. Писаренко [и др.]. – Киев: Наука думка, 2002. – 734с.

13 Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах. Т.1./ под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., – М.: Машиностроение , 2002. – 656с.

14 Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах. Т.2./ под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., - М.: Машиностроение , 2001. – 496с.

15 Справочник по физико-техническим основам криогеники/ М.П.Малков, И.Б.Данилов, А.Г.Зельдович, А.Б.Фрадков; Под ред. М.П.Малкова. – 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 2002. – 432 с., ил.

16 Чекмарев А .А. Осипов В.К. Справочник по машиностроительному черчению. – М.: Высшая школа, 2004.–493с.

17 Чеботарёв, В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учебное пособие / В. Е. Чеботарев, В. Е. Косенко Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2011. – 448с.

18 Гущин, В. Н. Основы устройств космических аппаратов: учебник для вузов/ В. Н. Гущин. – Москва: Машиностроение, 2003. – 272 с.

Поляк, В.С. Прецизионные конструкции зеркальных радиотелескопов: В.С. Поляк, Э.Я.Бервалдс – Рига: Зинатне, 1990. – 505с.

19 Основы конструирования механических устройств космических аппаратов. Конструктивные решения, динамические характеристики / А.К. Шатров [и др.]. – Красноярск: СибГАУ, 2009. – 144 с.

20 Надежность и эффективность в технике. Том 1: Методология. Организация. Терминология / ред. А.И. Рембеза. – Москва: Машиностроение, 1986. – 224 с.

21 Пудовкин, А.П. Основы теории антенн: учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов: Энергосервис, 1974. – 224 с.

22 Тернопольский, Ю. М., Методы статистических испытаний армированных пластиков: учебное пособие/ Ю. М. Тернопольский, Т. Я. Кинцис. – Москва: Химия, 1981. – 272 с.

23 Покрас, А. М. Антенны земных станций спутниковой связи: научное издание/ А. М. Покрас, А. М Сомов, Г.Г Цуриков – Москва: Радио и связь, 1985. – 235 с

24 Ямпольский, В. Г О направленных свойствах рупорно–параболической антенны . В. Г Ямпольский, В. Г. Петров // Антенны. – Москва: Связь, 1973. – Вып. 17.– С. 3 - 14.

25 Савицкий, Г.А. Антенные устройства: учебник / Г.А Савицкий – Москва: Связьиздат, 1961. Г.А Г.А 367 с.

26 Курочкин, А.П. Состояние и перспективы развития методов измерения внешних параметров антенн // Антенны. – Москва: Радио и связь, 1982. – Вып.30 – 46-64 с

27 Рычков, С. П. MSC. Visual NASTRAN Windows / С.П. Рычков. - Москва: МТ Пресс, 2004. – 552 с.

28 Шимкович, Д. Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows: учебное пособие/ Д. Г. Шимкович. – Москва: ДМК Пресс, 2003 . – 448с.

29 Рудаков, К.Н. FEMAPv10.2.: учебное пособие К.Н. Рудаков, Изд. 3-е, переработанное и дополненное; Москва, «Энергия», 1975. – 317с.

30 Зенкевич, О.С. Метод конечных элементов в технике: учебник/ О.С. Зенкевич; перевод с английского, Под ред. Победри Б.Е. – Москва: МИР, 1975. – 538 с.