

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
«__» _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Расчёт и проектирование несущих стовых конструкций с закладными
детальями»

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

подпись,
дата

профессор
МБК ПФКТ
д-р техн.наук

должность, ученая степень

А.К. Шатров
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись,
дата

А.А.
Стукалов
инициалы, фамилия

Рецензент

подпись,
дата

Начальник сектора
АО «ИСС»

должность, ученая степень

Ю.Б. Чекунов
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись,
дата

Е.С.
Сидорова
инициалы, фамилия

Красноярск 2019

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
«27» декабря 2018г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Студенту Стукалову Андрею Александровичу.

Группа МТ17-04М, направление (специальность) 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Тема выпускной квалификационной работы: «Расчет и проектирование несущих сотовых конструкций с закладными деталями».

Утверждена приказом по университету № 1852/с от 11.02.2019 г.

Руководитель ВКР: Шатров Александр Константинович, профессор, доктор технических наук, профессор межинститутской базовой кафедры «Прикладная физика и космические технологии»

Исходные данные для ВКР: протокол результатов испытаний сотовых образцов с установленными закладными деталями.

Перечень разделов ВКР:

1 Конструкции космических аппаратов.

2 Технология изготовления сотовых конструкций с закладными деталями.

3 Методика расчета несущей способности закладных элементов.

Перечень графического материала: представлен в виде слайдов презентации.

Руководитель ВКР : _____ А.К. Шатров
подпись, дата инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению _____ А.А. Стукалов
подпись, дата инициалы, фамилия

« 13 » января 2019 г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Расчет и проектирование несущих сотовых конструкций с закладными деталями» содержит 60 страниц текстового документа, 20 использованных источников литературы, 47 иллюстраций, 6 таблиц, 2 формулы.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ЗАКЛАДНЫМИ ДЕТАЛЯМИ

В результате проведенного исследования была разработана методика расчета несущей сотовой конструкции с закладной деталью. Была освещена проблема, не освещенная в иностранной и отечественной литературе, и предложена задача ее решения. Проблема очень актуальна в космической отрасли. Так как грамотно рассчитанный и спроектированный закладной элемент гарантированно выдержит воздействия при транспортировочном положении, участке выведения и летной эксплуатации ракетно-космической техники. Актуальны методики для расчета несущей способности закладных элементов. Так как при помощи закладных элементов получается соединять сотовые конструкции между собой. Осуществлять сборку космических аппаратов. Наиболее перспективным направлением является применение закладных элементов для соединения элементов конструкций. Чаще всего осуществляют установку закладных элементов с использованием клея, то есть с использованием клеевого соединения. Клеевое соединение осуществляет связь между закладным и конструктивным элементом.

Несущие сотовые конструкции с закладными элементами хорошо зарекомендовали себя при проведении испытаний. Стоит учитывать сотовые образцы в проектировании и изготовлении изделий. При этом многослойные конструкции имеют хорошие весовые показатели. Как было уже сказано выше, что клеевые соединения зарекомендовали себя с положительной стороны и годны для применения в ракетно-космической технике. Клеевые соединения позволяют полностью реализовать потенциал материала, так как соединение идет по всей поверхности.

В результате проведенного исследования была подтверждена предложенная методика для расчета несущих сотовых конструкций с закладными деталями. Выявлены критические факторы разрушения сотовых конструкций с закладными элементами, которые могут незначительно влиять на конечные выводы при определении несущей способности закладной детали. К ним относят: возможно частичное отсутствие клеевого соединения с одной стороны панели; несущая способность закладного ограничивается либо прочностью клеевого соединения, либо прочностью обшивки на разрыв; присутствует небольшой разброс значений разрушающей нагрузки.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	57
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	60

ВВЕДЕНИЕ

70 процентов всех российских космических аппаратов проектируется и изготавливается в АО «ИСС» г.Железногорск Красноярского края. Для КА требуется надежное функционирование и обеспечение непрерывной безотказной работы систем, агрегатов, узлов и механизмов. Для достижения требуемого срока активного существования, узлы КА проходят сложный цикл проектирования и изготовления, испытаний, начинающийся на заводе – изготовителе и заканчивающийся подготовкой к запуску на космодроме. Все этапы наземной подготовки и технологии являются важнейшими и во многом определяют надежную и безотказную работу по целевому назначению на орбите КА и его бортовых систем. Монтаж бортовых систем осуществляется на многослойные конструкции.

Опыт проектирования изделий показал, что стоит учитывать многослойные конструкции в проектировании и изготовлении изделий. Многослойные конструкции представляют конструкции, состоящие из нескольких слоев. Чаще всего распространены трехслойные конструкции. Несущие слои разнесены на некотором расстоянии при помощи тонкостенного заполнителя. Подбирая материалы несущих слоев и заполнителя можно добиться от конструкции как можно максимальных физико-механических свойств. При этом конструкция имеет хорошие массовые характеристики.

Внешние слои изготавливают из более прочных материалов (дерева, пластмасс, сплавов легких металлов). В зависимости от условий эксплуатации, могут состоять из нескольких разнородных материалов. Внутренний слой (заполнитель) изготавливают из мало прочных материалов с малой плотностью (из пробки, резины, вспененного полимерного материала; в форме сот, перемычек, гофры.).

Хорошо себя зарекомендовали закладные детали для многослойных конструкций. С использованием закладных деталей осуществляется сборка каркасов в аэрокосмической отрасли. Монтаж закладных деталей чаще всего осуществляется с использованием клея, клеевых соединений. Как показывает практический опыт, наиболее технологично применять клеевые соединения в ракетно-космической технике. Клеевые соединения позволяют полностью реализовать потенциал материала, так как соединение идет по всей поверхности. Осуществляют связь между склеиваемыми поверхностями на химическом уровне. Клеи очень хорошо себя зарекомендовали при воздействии высокого нагревания и охлаждения во время космического полета, при этом не ухудшаются прочностные параметры.

В технических требованиях к современным КА и их системам занимают прочностные параметры. С развитием космической техники актуальность задачи роста несущих сотовых конструкций с закладными деталями по мере появления новых комбинированных конструкций. Для измерения прочностных параметров в настоящий момент актуальны методики расчёта несущих сотовых конструкций с использованием закладных деталей и многих элементов

конструкции, где осуществляется связь элементов между собой при помощи клея.

Цель: Разработка методики расчета несущей сотовой конструкции с закладной деталью по определению несущей способности.

Задачи:

1 Выявление актуальности применения закладных деталей в конструкциях аэрокосмической отрасли.

2 Предложить методику расчета несущей сотовой конструкции с закладными деталями П – образной формы.

3 Определение значения разрушающей нагрузки закладной детали по результатам испытаний.

4 Верификация методики расчета несущей сотовой конструкции с закладной деталью по определению несущей способности.

[изъято главы 1 (стр. 8 – 38); 2 (стр 39 – 47); 3 (стр. 48 – 56)]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования была разработана методика расчета закладного элемента по определению несущей способности закладного элемента. Была освещена проблема, не освещенная в иностранной и отечественной литературе, и предложена задача ее решения. Проблема очень актуальна для применения в ракетно-космической технике. В данной магистерской работе дан обзор конструкций космических аппаратов, выявлено широкое применение трехслойных конструкций с различным наполнителем, а также с различными закладными элементами. Так как при помощи закладных элементов получается соединять сотовые конструкции, осуществлять сборку космических аппаратов. Наиболее перспективным направлением, даже в будущем, является применение закладных элементов для соединения элементов конструкций. Чаще всего осуществляют установку закладных элементов с использованием клея, то есть с использованием клеевого соединения. Клеевое соединение осуществляет связь между закладным и конструктивным элементом.

Была подобрана оптимальная технология изготовления сотовой конструкции и установки закладных элементов.

Были определены значения разрушающей нагрузки по результатам испытаний образцов. Испытания проводились на новейшем оборудовании, погрешность измерения которого не превышала $\pm 0,05$ %.

Сотовые конструкции с закладными элементами хорошо зарекомендовали себя при проведении испытаний. Стоит учитывать сотовые конструкции в проектировании и изготовлении изделий ракетно-космической техники. При этом многослойные конструкции имеют хорошие весовые показатели. Как было уже сказано выше, что клеевые соединения зарекомендовали себя с положительной стороны и годны для применения в ракетно-космической технике. Клеевые соединения позволяют полностью реализовать потенциал материала, так как соединение идет по всей поверхности.

В результате проведенного исследования были выявлены критические факторы разрушения образцов с закладными элементами, которые могут незначительно влиять на конечные выводы при определении несущей способности закладного элемента. К ним относят: возможно частичное отсутствие клеевого соединения с одной стороны панели; несущая способность закладного ограничивается либо прочностью клеевого соединения, либо прочностью обшивки на разрыв; присутствует небольшой разброс значений разрушающей нагрузки.

Проведена верификация методики расчёта несущей сотовой конструкции с закладной деталью. Сравнивались аналитические и экспериментальные данные. По результатам проведенного исследования была подтверждена правильность выбранного подхода к расчету несущей способности сотовой конструкции с закладным элементом.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

КА – космический аппарат;
ПКМ – полимерно-композиционные материалы;
РКТ – ракетно-космическая техника;
СОС – система ориентации и стабилизации;
БС – батареи солнечные;
КМ – композиционные материалы;
КЭМ – конечно-элементная модель;
КД – конструкторская документация;
БЦК – бортовой целевой комплекс;
СЭП – система электропитания;
СТР – система терморегулирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Чеботарев, В.Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учеб.пособие/ В.Е. Чеботарев, В.Е. Косенко; Сиб. гос. аэрокосмич. Ун-т. – Красноярск, 2011. – 488 с.
- 2 Фейзуллина, Н.М. Особенности формообразования поверхности космических антенн с сетчатым отражателем. Антенны, сборник статей, вып. 34 / Н.М. Фейзуллина, Ю.А. Кисанов, М.В. Грянник. – Москва: «Радио и связь», 1987.
- 3 Крылов, А.Г. Спутниковые системы связи и вещания. Состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] / А.Г. Крылов // Московский космический клуб. – 2014. – Режим доступа: http://mosspaceclub.ru/3part/krilov_2.pdf
- 4 Панин, В.Ф. Конструкции с сотовым заполнителем: учебное пособие / В.Ф. Панин. – Москва: Академия, 1994. – 160 с.
- 5 Гофин, М.Я. Механика сотовых конструкций: учебное пособие / М.Я.Гофин. – Москва: Академия, 2012. – 320 с.
- 6 Ермолаев, Р.А. Космическое материаловеденье: учебное пособие / Р.А. Ермолаев, М.М. Михайлов, Л.А. Семенова. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2017. – 374 с.
- 7 Гайдачук, В.Е., Научные основы оптимального проектирования сотовых конструкций ракетно-космической техники при многофакторном нагружении с учётом технологических ограничений / В.Е. Гайдачук, В.В. Кириченко, А.В. Кондратьев, В.И. Сливинский, В.А. Коваленко // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сборник материалов V науч.-практ. Конф. – Днепропетровск, 2013. – С. 58-63.
- 8Ендогур, А.И. Сотовые конструкции. Выбор параметров и проектирование: учебное пособие. / А.И. Ендогур, М.В. Вайнберг, К.М. Иерусалимский. – Москва: Машиностроение, 1986. – 200 с.
- 9Кесельман, Г.Д. Расчет на прочность трехслойной конструкции и закладных элементов / Г.Д. Кесельман // Конструкции из композиционных материалов. – 2006. – № 1. – С. 6 – 15.
- 10 Тестоедов, Н.А., Применение трехслойных сотовых конструкций в космических аппаратах / Н.А. Тестоедов, В.Н. Наговицин, М.Ю. Пермяков, // Решетневские чтения: материалы XX Междунар. Науч.-практ. Конф. – Красноярск, 2016. – Ч.1. – С. 200 – 211.
- 11Стукалов, А.А., Эффективность применения вставок в элементы сотовых конструкций в машиностроительном производстве / А.А. Стукалов, А.К. Шатров // Решетневские чтения: материалы XXII Междунар. Науч.-практ. Конф. – Красноярск, 2018. – Ч.1. – С. 55-56.
- 12Стукалов, А.А. Эффективность применения вставок в элементы сотовых конструкций в машиностроительном производстве / А.А. Стукалов // EastEuropeanScientificJournal. – 2018. – № 9 (37). – С. 58 – 59.

13 Буланов, И.М. Технология аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учеб. для вузов / И.М. Буланов, В.В. Воробей. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.

14 Гуцин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов: учебное пособие / В.Н. Гуцин. – Красноярск: Академия, 2006. – 167 с.

15 Устарханов, О.М. Определение оптимальных размеров и форм сотового заполнителя для трёхслойной конструкции при действии статической нагрузки / О.М. Устарханов // Вестник: Технические науки / Министерство образования и науки РФ. – Москва; Дагестан, 2013. – № 3 (30). – С. 48 – 53.

16 Двирный, Г.В. Вопросы отработки и создания трансформируемых антенн // Вестник СибГАУ. – 2009. – Вып. 1. – Ч.1. – С. 107 – 108.

17 Бердсудский, В.Е. Производство сотовых конструкций: учебное пособие / В.Е. Бердсудский. – Москва: Академия, 2003. – 296 с.

18 Баженов, С.Л. Механика и технология композиционных материалов: научное издание / С.Л. Баженов. – Долгопрудный: Интеллект, 2014. – 328 с.

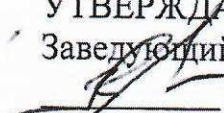
19 Тестоедов, Н.А. Технология производства космических аппаратов: учебник для вузов / Н.А. Тестоедов. – Сиб. гос. аэрокосмический. ун-т. – Красноярск, 2009. – 352 с.

20 Петрова, А.П. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учебное издание / А.П. Петрова, Г.В. Малышева; под. общ. ред. Е.Н. Каблова; ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ. – Москва: ВИАМ, 2017. – 472 с.

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» 06 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Расчёт и проектирование несущих сотовых конструкций с закладными
детальями»

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


подпись, дата 11.06.19
профессор
МБК ПФКТ
д-р техн.наук
должность, ученая степень


А.К. Шатров
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата 10.06.19

А.А. Стукалов
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата 11.06.19
Начальник сектора
АО «ИСС»
должность, ученая степень

Ю.Б. Чекунов
инициалы, фамилия

Нормоконтролер


подпись, дата 10.06.19

Е.С. Сидорова
инициалы, фамилия

Красноярск 2019