

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  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Особенности применения сотовых панелей в конструкции космического  
аппарата»  
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

<u>Научный руководитель</u>	_____	_____	_____
	подпись, дата	канд. техн. наук, доцент кафедры	В.Н. Наговицин
		должность, ученая степень	инициалы, фамилия
<u>Выпускник</u>	_____		<u>А.С. Уракова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
<u>Рецензент</u>	_____	_____	_____
	подпись, дата	нач. сектора 3091 отд. 309 «Конструирование КА и модуля полезной нагрузки» АО «ИСС»	К.В. Киселев
		должность, ученая степень	инициалы, фамилия
<u>Нормоконтролер</u>	_____		<u>В.Е. Чеботарев</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2020

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на тему: «Особенности применения сотовых панелей в конструкции космического аппарата» содержит 81 страницу текстового документа, 46 рисунков, 5 таблиц, 37 формул, 2 приложения, 21 использованный источник.

Ключевые слова: КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНОВОЧНАЯ СХЕМА КА, МОДУЛЬ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ (МПН), МОДУЛЬ СЛУЖЕБНЫХ СИСТЕМ (МСС), ТРЕХСЛОЙНАЯ КОНСТРУКЦИЯ, СОТОВЫЕ ПАНЕЛИ, МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ, ЗАКЛАДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, МЕТОДЫ РАСЧЕТА.

Целью данной работы является определение несущей способности цилиндрических закладных, а также сравнение результатов аналитических методов расчета несущей способности закладных с экспериментальными данными, выявляющее особенности применения сотовых панелей в конструкции космического аппарата.

В ходе написания магистерской диссертации была собрана и обработана основная информация, имеющаяся на предприятии и относящаяся к выбранной теме. А также проведен анализ теоретических материалов по имеющейся документации в данной области.

В первом разделе диссертации выполнен теоретический обзор общего построения и определения конструктивно-компоновочной схемы космического аппарата, а также приводятся общие сведения о трехслойных конструкциях и заполнителях.

Во втором разделе представляются способы определения механических приведенных характеристик несущих слоев и конструкций с заполнителями и рациональный выбор параметров сотовых панелей.

В третьем разделе приведены методы соединений сотовых панелей между собой и силовой структурой космического аппарата, а именно клееные

конструкции с заполнителем и закладные элементы, а также приведены методы аналитического расчета закладных элементов в сотовых панелях.

В четвертом разделе мною выполнено сравнение результатов аналитических методов расчета несущей способности закладных элементов с экспериментальными данными.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1 Теоретический обзор общего построения и определения конструктивно-компоновочной схемы космического аппарата.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Факторы, определяющие конструктивно-компоновочную схему космического аппарата.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Герметичное и негерметичное исполнение космического аппарата.....	<b>Error!</b> <b>Bookmark not defined.</b>
1.2.1 Модуль полезной нагрузки .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.2 Модуль служебных систем .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Общие сведения о трехслойных конструкциях и заполнителях .....	<b>Error!</b> <b>Bookmark not defined.</b>
2 Подбор сечений сотовых панелей .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Расчет приведенных механических характеристик .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Подход к рациональному выбору параметров сотовых панелей.....	<b>Error!</b> <b>Bookmark not defined.</b>
3 Методы соединений сотовых панелей между собой и силовой структурой космического аппарата .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Выбор соединений и требования к ним.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1.1 Требования к клееным конструкциям с заполнителем ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Применение закладных элементов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2.1 Применение цилиндрических вставок.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2.2 Применение блоковых закладных элементов.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Типовые соединения конструкций с заполнителем.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

3.4 Методы расчета закладных элементов в сотовых панелях. **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1 Аналитическое определение несущей способности цилиндрических закладных ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.2 Аналитическое определение несущей способности блоковых закладных элементов ..... **Error! Bookmark not defined.**

4 Сравнение результатов аналитических методов расчета несущей способности закладных с экспериментальными данными ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.1 Сквозная закладная..... **Error! Bookmark not defined.**

4.1.1 Расчет несущей способности сквозного закладного элемента на вырыв и сдвиг пенокомпауда ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.1.2 Расчет несущей способности сквозного закладного элемента на кручение ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.1.3 Расчет несущей способности сквозного закладного элемента на изгибающий момент ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.2 Односторонний закладной элемент ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.2.1 Расчет несущей способности одностороннего закладного элемента на вырыв и сдвиг пенокомпауда ..... **Error! Bookmark not defined.**

Заключение ..... 4

Список сокращений ..... **Error! Bookmark not defined.**

Список использованных источников ..... 5

Приложение А Протокол анализа определения разрушающей нагрузки сквозного закладного элемента при испытании на вырыв .. **Error! Bookmark not defined.**

Приложение Б Протокол анализа определения разрушающей нагрузки одностороннего закладного элемента при испытании на вырыв ..... **Error! Bookmark not defined.**

[Изъято главы 1-4]

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационном исследовании изучена актуальная проблема широкого использования сотовых конструкций в КА, перспективность которых неразрывно связана с развитием методов расчета несущей способности закладных элементов, установленных в них.

В ходе выполненной работы был проведен теоретический обзор общего построения и определения конструктивно-компоновочной схемы КА. Исходя из того, что негерметичная проектно-компоновочная схема позволяет сократить общую массу, габариты и энергопотребление КА, а также значительно увеличить САС КА, это модульное исполнение является более эффективным за счет технологичности и рациональной компоновки приборов на сотовых панелях, перспективность которых связана в первую очередь с высокой относительной жесткостью и прочностью.

В работе были рассмотрены общие сведения о трехслойных конструкциях и способы определения механических приведенных характеристик несущих слоев, входящих в их состав, и подход к рациональному выбору параметров при их проектировании.

В ходе диссертационного исследования была приведена методика аналитического расчета несущей способности закладных элементов в сотовых панелях, и соответственно, проведен расчет цилиндрических закладных, исходя из данной методики.

Сравнивая полученные расчетные значения сквозной и односторонней закладной, которые относительно совпадают с результатами испытаний, можно сделать прогноз, что при толщине обшивок  $\delta_{\text{общ}} \geq 1,76$  мм и  $\delta_{\text{общ}} \geq 0,64$  мм соответственно, в дальнейших расчетах несущей способности закладных необходимо будет учитывать величину сдвига ПЭКа по закладному элементу. Следовательно, дальнейший рост величины обшивки не будет приводить к увеличению несущей способности закладной.

## 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 Пат. 2541598 Российская Федерация, МПК В64G 1/22 (2006.01) В64G 1/50 (2006.01). Способ компоновки космического аппарата / Н. А. Тестоедов [и др.] ; заявитель и патентообладатель АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». – №2013117474/11 ; заявл. 16.04.13 ; опубл. 20.02.15, Бюл. № 5. – 15 с.
- 3 Гушин, В. Н. Основы устройства и конструирования космических аппаратов : учеб. пособие для вузов / В. Н. Гушин, Б. М. Панкратов, А. Д. Родионов. – Москва : Машиностроение, 1992. – 256 с.
- 4 Максимов, Г. Ю. Теоретические основы разработки космических аппаратов : науч. изд. / Г. Ю. Максимов. – Москва : Наука, 1980. – 320 с.
- 5 Злотенко, В. В. Особенности механической обработки алюминиевых сотовых конструкций / В. В. Злотенко, Н. Н. Ишенина // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева : Сибирский журнал науки и технологий. – 2005. – №4. – С. 2.
- 6 Конструкция космических аппаратов // АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iss-reshetnev.ru/branch-center/design-cosmic-device>.
- 7 Ендогур, А. И. Сотовые конструкции. Выбор параметров и проектирование : науч. изд. / А. И. Ендогур, М. В. Ванберг, К. М. Иерусалимский. – Москва : Машиностроение, 1986. – 200 с.
- 8 Хертель, Г. Тонкостенные конструкции : науч. изд. / Г. Хертель. – Москва : Машиностроение, 2012. – 528 с.

- 9 Панин, В. Ф. Конструкции с заполнителем : справочник / В. Ф. Панин, Ю. А. Гладков. – Москва : Машиностроение, 1991. – 272 с.
- 10 Панин, В. Ф. Конструкции с сотовым заполнителем : науч. изд. / В. Ф. Панин. – Москва : Машиностроение, 1982. – 152 с.
- 11 Колганов, И. М. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения : учеб. пособие / И. М. Колганов, П. В. Дубровский, А. Н. Архипов. – Ульяновск : УлГТУ, 2003. – 148 с.
- 12 А. С. Уракова, В. Н. Наговицин / Материалы XXII Международной науч.-практической конференции «Решетневские чтения» «Применение сотовых панелей в спутниковой технике» : Изд-во ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева». – Красноярск, 2018. – С. 179-180.
- 13 Крысин, В. Н. Слоистые клееные конструкции в самолетостроении : науч. изд. / В. Н. Крысин. – Москва : Машиностроение, 1980. – 231 с.
- 14 Иванов, А. А. Новое поколение сотовых заполнителей для авиационно-космической техники : науч. изд. / А. А. Иванов, С. М. Кашин, В. И. Семенов. – Москва : Энергоатомиздат, 2000. – 436 с.
- 15 Справочник по композиционным материалам : научный сборник / под ред. Дж. Любина. – Москва : Машиностроение, 1988. – 584 с.
- 16 ECSS-E-NB-32-22A Проектирование космической продукции. Справочник по проектированию вставок. – Введ. 20.03.2011. – Нидерланды : Европейское Космическое Агентство для членов ECSS, 2011. – 503 с.
- 17 К352-74-05 Каталог цилиндрических вставок для сотовых панелей. Типы, размеры, результаты испытаний. – Введ. 01.01.2005. – Железногорск : АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», 2005. – 41 с.
- 18 СТО 154-248-2015 Закладные элементы. Методика определения несущей способности закладных элементов. Требования к установке закладных элементов в сотовых панелях. – Введ. 01.09.2015. – Железногорск : АО



«Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», 2015. – 53 с.

19 СТО 154-273-2017 Блочные закладные элементы. Требования к установке и методика определения несущей способности блочных закладных элементов. – Введ. 25.12.2017. – Железногорск : АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», 2017. – 25 с.

20 Кобелев, В. Н. Расчет трехслойных конструкций : учеб. пособие / В. Н. Кобелев, Л. М. Коварский, С. И. Тимофеев. – Москва : Машиностроение, 1984. – 304 с.

21 ТУ 14311577.237-02 Технические условия. Заполнители сотовые клееные из алюминиевой фольги. – Введ. 01.04.2002. – Железногорск : АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», 2002. – 7 с.

**[Изъято приложения А, Б]**

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  
инициалы, фамилия

подпись  
« 18 » 06 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Особенности применения сотовых панелей в конструкции космического  
аппарата»  
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

  
17.06.20

канд. техн. наук, доцент  
кафедры

В.Н. Наговицин  
инициалы, фамилия

подпись, дата

должность, ученая степень

Выпускник

  
17.06.20

А.С. Уракова  
инициалы, фамилия

подпись, дата

нач. сектора 3091  
отд. 309

Рецензент

  
17.06.20

«Конструирование КА и  
модуля полезной  
нагрузки» АО «ИСС»  
должность, ученая степень

К.В. Киселев  
инициалы, фамилия

подпись, дата

Нормоконтролер

подпись, дата

  
17.06.20

В.Е. Чеботарев  
инициалы, фамилия

Красноярск 2020