

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
«___» _____ 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Исследования на герметичность термовакуумного оборудования при
испытаниях конструкций космического аппарата»
Тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
Машиностроительных производств»
код и наименование направления

15.04.05.02 «Технологии космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

Научный
руководитель

подпись, дата

доцент МБКПФиКТ
канд. техн. наук

должность, ученая степень

Г.В. Двирный

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

начальник сектора,
Отдел 380 АО «ИСС»
имени академика
М.Ф. Решетнева»

должность, ученая степень

Д.М. Юнусов

инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

профессор
МБК ПФиКТ,
д-р техн. наук

должность, ученая степень

В.Е. Чеботарев

инициалы, фамилия

Нормоконтролёр

подпись, дата

Красноярск 2021

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

« _____ » _____ 2021 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту: Лисину Владимиру Андреевичу.

Группа МТ19-04М. Направление (специальность) 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Тема выпускной квалификационной работы: «Исследования на герметичность термовакuumного оборудования при испытаниях конструкций космического аппарата».

Утверждена приказом по университету от 22.11.2019 № 19878/с.

Руководитель ВКР: канд. техн. наук, доцент МБК ПФиКТ Двирный Гурий Валерьевич.

Перечень разделов ВКР.

1 Общие сведения о вакууме.

2 Понятия локальной и суммарной негерметичности.

3 Системы и узлы космического аппарата требующие герметичное исполнение.

Перечень графического материала представлен в виде слайдов презентации в количестве 15 штук.

Руководитель ВКР

подпись

Г.В. Двирный
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

В.А. Лисин
инициалы и фамилия

«22» января 2020 г

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследования на герметичность термовакуумного оборудования при испытаниях конструкций космического аппарата» содержит 70 страницы текстового документа, 20 использованных источников.

ИССЛЕДОВАНИЯ, КОНСТРУКЦИИ КА, ТЕЧЕЙСКАТЕЛЬ, ВАКУУМНАЯ КАМЕРА, МОДЕРНИЗАЦИЯ, ПЕРСПЕКТИВА.

Объект исследования: вакуумно-откачные системы, течеискатели.

Цели работы:

– повышение точности измерений герметичности конструкций КА в термовакуумных условиях. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– рассмотреть методы и схемы измерений характеристик и подтверждения заданных параметров герметичности в конструкциях КА.

– рассмотреть существующие на предприятии вакуумные установки.

– изучить гелиевые течеискатели;

– определить недостатки гелиевых течеискателей;

– проанализировать применимость имеющихся на предприятии гелиевых течеискателей и вакуумных камер при испытаниях на герметичность конструкций КА;

– на основании полученных данных при испытаниях предложить пункты по возможной модернизации действующих гелиевых течеискателей.

В результате проведённого исследования была определена связь между объёмом вакуумных камер и течеискателей используемых на предприятии, а так же проведено испытание.

В итоге были разработаны рекомендации по модернизации течеискателя, на перспективу с достаточно емкими вакуумными камерами.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Общие сведения о вакууме	Error! Bookmark not defined.
1.1 Понятия низкий, средний, высокий вакуум.....	15
1.2 Вакуумные установки	Error! Bookmark not defined.
1.3 Виды конструкций насосов.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Схемы вакуумно-откачных систем	Error! Bookmark not defined.
1.5 Средства измерения вакуума	Error! Bookmark not defined.
2 Понятие локальной и суммарной негерметичности.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Методы контроля суммарной негерметичности.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Методы контроля негерметичности при помощи пробных газов	Error! Bookmark not defined.
3 Системы и узлы космического аппарата требующие герметичное исполнен	Error! Bookmark not defined.
3.1 Вакуумные установки и оборудование для испытаний на герметичность конструкций космического аппарата	Error! Bookmark not defined.
3.2 Оборудование, применяемое для контроля герметичности, в АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва	Error! Bookmark not defined.
3.3 Контроль герметичности космического аппарата	Error! Bookmark not defined.
3.4 Вывод по испытанию на герметичность	Error! Bookmark not defined.
Заключение	13

Список сокращений	68
Список использованных источников.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Основными требованиями, предъявляемыми к КА, являются надежное функционирование при длительном сроке активного существования (10-15 лет). Такая работа КА на орбите является следствием непрерывного, бесперебойного функционирования его систем, агрегатов, узлов и механизмов. Для достижения требуемого срока активного существования (САС) КА и его системы проходят сложный цикл производства и испытаний, который начинается на заводе-изготовителе (ЗИ) и заканчивается на космодроме подготовкой к запуску. Все этапы наземных проверок и технологии испытаний КА как на ЗИ, так и на космодроме во многом определяют надежную и безотказную работу КА и его бортовых систем по целевому назначению на орбите. Одной из наиболее актуальных задач в космической отрасли является создание и применение методов и вакуумного оборудования для испытаний конструкций КА в термовакуумных условиях при испытаниях на герметичность гарантирующих работу в течении длительного САС.

Современные зарубежные и российские спутники требуют повышенной герметичности при дозаправке топливом в открытом космосе, поскольку существуют спутники отработавшие свой ресурс по исходу топлива в системе ориентации и коррекции.

Так же, обратим внимание на возрастающие требования к монтажу в приборах космического аппарата.

Поверхностно-монтируемые элементы должны быть подготовлены к поверхностному монтажу согласно требованиям технических условий на них.

Поверхностный монтаж – это технология будущего. Начав с простого, необходимо продвигаться вперед для отработки всех тонкостей современной технологии. Необходимо обеспечить стабильность технологических процессов,

оптимизировать технологические режимы, обеспечить строгое выполнение требований КД и НТД, что позволит с минимальными затратами решать сложнейшие технические и технологические задачи [19,20].

Оценка выполнения требований по надежности КА на этапах экспериментальной отработки и летных испытаний (ЛИ) должна осуществляться по контрольным уровням. При этом контрольные уровни надежности КА на этапах наземной экспериментальной отработки (НЭО) и ЛИ должны быть подтверждены и испытаниями на герметичность.

Стоит заметить, что значительный удельный вес при выполнении работ по испытаниям, в том числе на герметичность составляют затраты на операции взаимной координации объектов испытаний и оборудования, например течеискателей, а также затраты на изготовление оснастки второго порядка и т.п. Эти затраты во многом определяются значительным объемом ручных работ и зависят от особенностей конструкции, уровня технологичности. Рост объемов выпуска изделий достигается в основном путем расширения фронта работ и увеличения численности рабочих, занятых в сборочном производстве [18].

Современные требования контрактов по созданию спутников обуславливают разработку в кратчайшие сроки рациональных планов и методов с применением методик измерений характеристик на герметичность конструкций КА в термовакуумных условиях, как отдельных составляющих, так и космических аппаратов в целом [3].

В работе сделана попытка последовательно и систематизированно изложить особенности оборудования для испытаний КА на герметичность с использованием гелиевых течеискателей в термовакуумных условиях, с учетом анализа имеющихся в литературе данных, а также накопленного опыта в АО «ИСС».

Испытания на герметичность КА в АО «ИСС» проводятся в рамках комплексной подготовки космических аппаратов к запуску [2].

Принципы надежности КА закладываются при проектировании. Конструкция проектируется с учетом воздействия внешних факторов. Выявляются возможные узлы где важно герметичное исполнение, после чего надежность обеспечивается при изготовлении с последующим проведением механических, термовакуумных испытаний.

Проявляется надежность при эксплуатации, где затраты на устранение неисправностей и отказов увеличиваются примерно на два порядка по сравнению с устранением замечаний на этапе проектирования и примерно на порядок по сравнению с устранением неисправностей и отказов на этапе изготовления.

Исходя из этих соображений, автор обобщил накопленный опыт, изложил существующие методы, схемы, оборудование при испытаниях на герметичность конструкций КА при их наземной отработке и предложил собственные, пункты по модернизации гелиевого течеискателя при испытаниях конструкций в термовакуумных условиях.

Сокращение энергетических затрат, используемого сырья, максимальная автоматизация производства, резкое сокращение сроков разработки, освоение новой продукции в производстве, полная масштабность наземной экспериментальной отработки с применением комплексного метода измерений геометрических характеристик конструкций КА в термовакуумных условиях, создание надежной наземной инфраструктуры, обязывающее к проектированию и разработке высоконадежных КА – слагаемые, характеризующие эффективность труда многих коллективов НИИ, КБ и промышленных предприятий, в основном входящих в структуру АО «ИСС», обеспечивающие устойчивые темпы роста производства и укрепления обороноспособности страны. Успешное решение этих задач лежит на пути создания принципиально новых, прогрессивных технологий проектирования, условий конкурентоспособности создаваемой продукции на мировом рынке.

подавляемое большинство всех российских КА, эксплуатируемых в условиях космического пространства, изготовлены и прошли испытания на механические и термовакуумные воздействия с применением комплексных методов измерений характеристик при испытаниях конструкций в АО «ИСС».

При этом удовлетворены основные требования, предъявляемые к КА: обеспечение повышенной герметичности при надежном функционировании в течение длительного, до 15 лет, САС и непрерывная безотказная работа систем, агрегатов, узлов и механизмов. Для достижения вышеуказанного САС системы, агрегаты, узлы КА и сам КА в целом проходят цикл испытаний в соответствии с комплексным планом экспериментальной отработки (КПЭО), гарантирующим надежность. Этапы НЭО и подготовки КА на ЗИ и на космодроме являются важнейшими, поскольку определяют надежную и безотказную работу по целевому назначению на орбите как КА, так и его бортовых систем. Поэтому в условиях ужесточения требований к КА, в том числе характеристик на герметичности. Актуальной задачей является влияние вакуума и широкого диапазона температур накладывают особенности на методику проведения испытаний на герметичность и применения термовакуумного оборудования. Положительные результаты и эффективность испытаний систем повышенных габаритов зависят от их конструкции. В связи с этим при отсутствии комплексного подхода актуальной является разработка усовершенствованного оборудования для испытаний на герметичность.

Таким образом, необходимо создание космических аппаратов нового поколения обуславливает актуальную научно-техническую проблему – обеспечение герметичности к воздействию экстремальных орбитальных условий на протяжении длительного, до 15 лет САС.

Целью работы является повышение точности измерений герметичности конструкций КА в термовакуумных условиях.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- рассмотреть методы и схемы измерений характеристик и подтверждения заданных параметров герметичности в конструкциях КА;
- рассмотреть существующие на предприятии вакуумные установки;
- изучить гелиевые течеискатели;
- определить недостатки гелиевых течеискателей;
- проанализировать применимость имеющихся на предприятии гелиевых течеискателей и вакуумных камер при испытаниях на герметичность конструкций КА;
- на основании полученных данных при испытаниях предложить пункты по возможной модернизации действующих гелиевых течеискателей.

Объект исследования: конструкционные характеристики ТИ, вакуумные установки.

Предмет исследования: особенности контроля и качества испытаний на герметичность конструкций КА.

[Изъяты 1-3 главы, стр.12 - 66 включительно]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание сильные стороны течеискателей старых моделей и, учитывая современные возможности ТИ1-50, а так же проведённое испытание, можно модифицировать ТИ1-50.

1 Добавить вентиль «дросселирование откачки» (не программно, как на ТИ1-30) и/или добавить управление скоростью вращения ротора турбомолекулярного насоса, позволяя снизить его производительность.

2 Внести в вакуумно-откачную систему азотную ловушку по аналогии с ТИ предыдущих моделей с целью организации сорбционной откачки, позволяющей удерживать необходимый для работы катода и обеспечения стабильности сигнала, вакуум в камере масс-спектрометра без участия ТМН.

3 По аналогии реализовать принципы измерения ионного тока так чтобы ТИ1-50 мог работать в диапазоне от 1 мВ до 200 В. Так же реализовать возможность выбора тока эмиссии катода от 0,01 до 5 мА, который в свою очередь позволит ТИ1-50 работать как в мВ диапазонах на камерах малого объёма так и в Вольтовых диапазонах на камерах большого объёма.

Таким образом, данный способ модернизации оборудования поможет решить проблему по использованию новых современных Российских ТИ на вакуумных камерах разных объёмов. Значения которые мы сможем получить на испытаниях изделия на герметичность могут выглядеть как в таблице 3:

Таблица 3–Показания после модернизации

Параметры	ТИ1-50 на изделие
Q	2.1×10^{-5} л.мкм.рт.ст/с
α_0	830,7 мВ
$\alpha_{ЭТ}$	844,4 мВ
$\alpha_{ФЛ}$	0,2 мВ
S _q	$1,0 \times 10^{-5}$ л.мкм.рт.ст/с

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АО «ИСС» – Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва;

ЗИ – Завод изготовитель;

КА – Космический аппарат;

КД – Конструкторская документация;

КПЭО – Комплексный план экспериментальной отработки;

ЛИ – Лётные испытания;

НТД – Нормативно-техническая документация;

НЭО – Наземно-экспериментальная отработка;

САС – Система активного существования;

ТИ – Течеискатель.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Тестоедов, Н.А. Технология производства космических аппаратов : учебник для вузов / Н.А. Тестоедов[и др.]. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2009. – 352, [4] л. цв. Ил.
- 2 Головёнкин, Е.Н. Двирный, В.В. Ковалёв, Н.А. Краев, М.В. Рузанов, В.П. Смирнов– Васильев К.Г. Агрегаты автономных энергетических систем: учеб. пособие / К.Г. Смирнов-Васильев ; КрПИ. – Красноярск, 1986. – 89 с.
- 3 Чеботарёв, В.Е. Косенко, В.Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учебн. пособие / В.Е Чеботарёв., В.Е. Косенко; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск. 2011. – 488 с. с ил.
- 4 Волчкевич, А. И. Высоковакуумные адсорбционные насосы: учебное пособие / А. И. Волчкевич. – Москва: Машиностроение, 1973. – 158 с.
- 5 Ворончев, Т. А. Физические основы электро-вакуумной техники: учебное пособие / Т. А Ворончев, В. Л. Соколов. – Москва: Высшая школа, 1967. – 352 с.
- 6 Дэшман, С. Научные основы вакуумной техники / С. Дэшман. – Москва: Мир, 1964. – 715 с.
- 7 Королев, Б. И., Основы вакуумной техники / Б. И. Королев, В. И. Кузнецов, А. И. Пипко. – Москва: Энергия, 1975. – 415 с. с ил.
- 8 Ланис, В. А. Техника вакуумных испытаний: учебное пособие / В. А. Ланис, Л. Е. Левина. – Москва: Госэнергоиздат, 1963. – 263 с.
- 9 Лекк, Дж. Измерение давления в вакуумных системах / Дж. Лекк. – Москва: Мир, 1966. – 207 с.
- 10 Лубенц, В.Д. Вакуумные системы и их элементы: Справочник-атлас / В. Д. Лубенц. – Москва: Машиностроение, 1968. – 190 с.
- 11 Менх, Г. Техника высокого вакуума / Г. Менх. – Москва: Энергия, 1965. – 560 с.

- 12 Мызникова, К. Н. Сорбционные процессы в вакууме / К. Н. Мызникова. – Москва: Атомиздат, 1966. – 313 с.
- 13 Цейтлин, А. Б. Пароструйные вакуумные насосы: учебное пособие / А. Б. Цейтлин. – Москва: Энергия, 1965. – 399 с.
- 14 Глебов, Г. Д. Поглощение газов активными металлами. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961 – 184 с. с ил.
- 15 Ковалевский, Р. Е. Чекмарев, А. А. Конструирование и технология вакуумно-плотных паяных соединений. М., «Энергия», 1968–208 с. с ил.
- 16 Sedler P. Comparative performance characteristics between a \ anc and a rotary piston tipe mechanical vacuum pump. — «Vacu-um», 1969, vol. 19, № 1.
- 17 Цветков, С.А. Черников, В.И. «Технология и оборудование поверхностного монтажа», Москва, НИИ ИТ, 2004г.
- 18 Стенин, Ю.М. Антенны и антенные системы. – Казань: КГУ, 2012 г.– 50 с.
- 19 Терёхина, В.С. Проблемы группового поверхностного монтажа ЭРИ бортовой РЭА / В.С. Терёхина, А.В. Фищенко, В.А. Лисин, А.И. Рудич // Решетневские чтения : материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (11–15 нояб. 2019, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2019. Ч. 1.
- 20 Рудич, А.И. Разработка механического участка с ЧПУ для изготовления сборочных единиц наземной антенны / А.И. Рудич, В.С. Терёхина, А.В. Фищенко, В.А. Лисин// Решетневские чтения : материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (10–13 нояб. 2020, г. Красноярск): в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2019. Ч. 1.

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

«17»

06

2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Исследования на герметичность термовакuumного оборудования при
испытаниях конструкций космического аппарата»

Тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
Машиностроительных производств»

код и наименование направления

15.04.05.02 «Технологии космических аппаратов

код и наименование магистерской программы

Научный
руководитель


подпись, дата

доцент МБК ПФиКТ

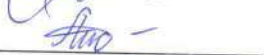
канд. техн. наук

должность, ученая степень

Г.В. Двирный.

инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

В.А. Лисин

инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

начальник сектора,
Отдел 380 АО «ИСС»

имени академика

М.Ф. Решетнева».

должность, ученая степень

Д.М. Юнусов

инициалы, фамилия

Нормоконтролёр


подпись, дата

профессор МБК

ПФИКТ, д-р техн.наук

должность, ученая степень

В.Е. Чеботарев

инициалы, фамилия

Красноярск 2021