

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт математики и фундаментальной информатики
Базовая кафедра вычислительных и информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ /В.В. Шайдуров

«__» _____ 2023 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ СТАНДАРТА ЧАСТОТЫ

Направление 02.04.01 Математика и компьютерные науки

**Магистерская программа 02.04.01.01 Математическое и компьютерное
моделирование**

| | | | |
|----------------|-------|---|----------------|
| Руководитель | _____ | доктор физико- математических наук, профессор, член- корреспондент РАН | В.М. Садовский |
| Выпускник | _____ | | В.М. Гусейнов |
| Нормоконтролер | _____ | | Т.Н. Шипина |

Красноярск 2023

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 5 |
| 1 Постановка задачи..... | 8 |
| 2 Теплофизическая модель отвода тепла от стандарта частоты | 12 |
| 2.1 Тепловой баланс | 12 |
| 2.2 Компенсационный нагреватель | 13 |
| 2.3 Математическое постановка задачи..... | 15 |
| 3 Конечно-элементная модель | 17 |
| 3.1 Исходные данные для расчетной модели | 17 |
| 3.2 Создание расчетной модели..... | 22 |
| 3.3 Верификация модели | 24 |
| 4 Моделирование системы термостабилизации | 30 |
| 4.1 Обзор регуляторов | 30 |
| 4.2 П – регулятор..... | 32 |
| 4.3 И - регулятор..... | 37 |
| 4.4 ПИ - регулятор..... | 39 |
| 4.5 Нестабильность бортового питания..... | 42 |
| Заключение | 46 |
| Список использованных источников | 47 |

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшней день в нашу повседневную жизнь прочно вошли технологии геопозиционирования. Людям необходимо знать свое местоположение в таких сферах как навигация, транспорт, картография и так далее. Определение координат при помощи спутниковых систем является важной частью геолокации. На сегодняшний день точность определения координат с помощью российской глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) не превышает 2,5 м (без учета атмосферных искажений). Точность определения координат наземных объектов в первую очередь определяется точностью работы стандарта частоты (СЧ), работающего на борту космического аппарата.

Высокая точность поддержания частоты возможна при условии минимальных колебаний температуры на посадочном месте прибора. В данный момент на спутниках достигнута точность стабилизации в пределах $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Данная работа нацелена на изучение возможностей улучшения точности стабилизации до $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$.

В настоящее время водородные стандарты частоты и времени (ВСЧВ) превосходят по стабильности частоты остальные типы микроволновых квантовых часов. Именно по этой причине в последние десятилетия в спутниковой навигации применяют эти типы часов.

Определенный тепловой режим космического аппарата (КА) поддерживается при помощи так называемых пассивных и активных способов. Пассивные способы: оптимальное расположение приборов в космическом аппарате; специальный подбор конструкции КА; отведение тепла от тепловыделяющих приборов за счет теплопроводности и излучения; изолирование приборов и всего космического аппарата от теплового взаимодействия; нанесение красок, обладающих определенными оптическими характеристиками на наружную поверхность космического аппарата.

Излучающая поверхность сотовой панели (СП), задачей которой является отвод тепла от приборов КА, размещается таким образом, чтобы на нее не попадали лучи солнца. Сама СП состоит из двух тонких алюминиевых пластин (обшивок) толщиной менее 1 мм. Между пластинами находится алюминиевая фольга – сотовый наполнитель. На рисунке 1 показан фрагмент СП.

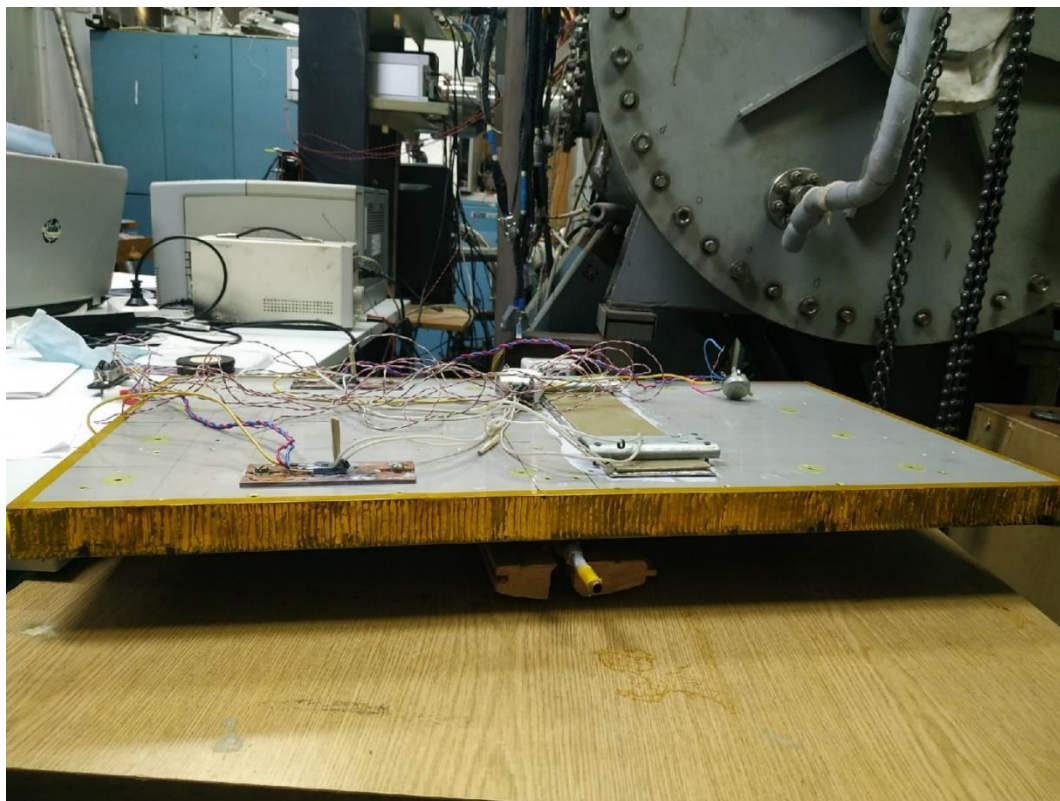


Рисунок 1 – Фрагмент сотовой панели

Во время движения спутника по орбите Земли, происходит вращение солнечных батарей таким образом, чтобы получать максимальную энергию от Солнца. Поверхность солнечных батарей, которая способна нагреваться до $+70^{\circ}\text{C}$, излучает энергию на поверхность радиатора, вызывая нестабильный нагрев по пространству и времени.

Активные способы либо привносят в систему дополнительную энергию, либо обеспечивают отвод излишков тепла. Для этой цели используются терморегуляторы, теплообменники, космические радиаторы и электронагреватели. Как правило, системы терморегулирования, основаны на комбинации пассивных и активных способов отвода тепла. Необходимым элементом такой системы является тепловые датчики.

Стандартная схема терморегулирования включает в себя прибор, расположенный на массивном основании, компенсационный нагреватель и датчик температуры, который измеряет текущую температуру основания или самого прибора. Поддержание температуры происходит следующим образом: прибор вырабатывает тепло, которое затем передается на радиатор. Радиатор через излучение передает энергию во внешнее космическое пространство. Для каждого прибора при проектировании КА выделяется своя площадь радиатора.

Для увеличения температуры приборов используются компенсационные нагреватели, работающие по определенному алгоритму. Например, задействовать подвод дополнительного тепла в момент времени, когда температура упала ниже определенного значения, и выключать подвод тепла, когда это значение достигается. Альтернативный способ – это кратковременные периодические включения по показаниям датчиков температуры (широотно-импульсная модуляция). В зависимости от изменения температуры на датчике компенсационный нагреватель уменьшает или увеличивает подаваемую мощность на прибор или массивное основание.

Для более точного регулирования температуры необходимо внести учет таких явлений, как:

1. Изменение напряжения, что может повлиять на выделяемую мощность нагревателя или самого прибора.
2. Воздействие внешних тепловых потоков.

Одним из способов сгладить неравномерность по пространству радиатора теплового потока – использование тепловых труб и гипертеплопроводящих пластин, которые обладают высокой теплопроводностью в продольных направлениях (более 6000 В/(м·К)).

Целью данной работы является изучение возможности повышения точности терморегулирования на термоплите под СЧ до $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ на основе результатов, полученных в ходе вычислительного эксперимента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Никитин П.В. Катализ и излучение в системах тепловой защиты космических аппаратов / Никитин П.В., Сотник Е.В. – М.: Янус-К, 2013 – 336 с.
2. Бухмиров В.В. Тепломассообмен/ Бухмиров В.В.// ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина.» – Иваново, 2014. – 360 с.
3. Ганенко С.А. Задачи разработки и экспериментальные исследования термоплиты прибора атомно-лучевой трубки космического аппарата “Глонасс-М” / Ганенко С.А., Вшивков А.Ю.// Решетневские чтения 2011 г.
4. Самарский А.А. Теория разностных схем /Самарский А.А. М.: Наука, 1989. 616 с.
5. Васильев Е.Н. Вычислительное моделирование процессов теплообмена в системах терморегулирования космических аппаратов / Васильев Е.Н., В.А. Деревянко, Д.А. Нестеров [и другие] // Вычислительные технологии. – 2009. – №6.
6. Гринюк Д.А. Использование нелинейных ПИД-регуляторов в каскадных системах регулирования / Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Оробей И.О. [и другие] // Техника и технология пищевых производств: материалы XIII Международной научно-технической конференции, Могилев, 23-24 апреля 2020 г. - Могилев: МГУП, 2020. - Т. 2. - С. 141-142.
7. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического регулирования /В.А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 3-е изд., испр. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
8. Дульнев Г.Н. Методы расчета теплового режима приборов /Дульнев. Г.Н., Парфенов В.Г., Сичалов А.В. –М.: Радио и связь, 1990.
9. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / Тихонов А.Н., Самарский А.А. – М.: Наука, 1972.
10. Чи С. Тепловые трубы теория и практика/ Чи С.:пер. с англ. В.Я. Сидорова М.: Машиностроение, 1981

11. Лыков А.В. Теория теплопроводности. / Лыков А.В. –М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.

12. Nesterov D.A. Experimental investigations of flat T-shaped copper and titanium heat pipes / Nesterov D.A., Derevyanko V.A., Suntsov S.B// App. Therm. Eng. Vol. 198, 5 November 2021

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт математики и фундаментальной информатики
Базовая кафедра вычислительных и информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 /В.В. Шайдуров

«22» июня 2023 г.


МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ СТАНДАРТА ЧАСТОТЫ

Направление 02.04.01 Математика и компьютерные науки

Магистерская программа 02.04.01.01 Математическое и компьютерное моделирование

Руководитель




22.06.2023

доктор физико-
математических
наук, профессор,
член-
корреспондент
РАН

В.М. Садовский

Выпускник

Нормоконтролер


22.06.2023

22.06.2023

В.М. Гусейнов
Т.Н. Шипина

Красноярск 2023