

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікроелектроніки
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.365.39

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

“15” _____ 05 _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 153 «Мікро та наносистемна техніка» _____
(код і назва)

на тему: Тонкоплівковий нагрівник систем термостабілізації сканерів земної
поверхні

Виконав студент 6 курсу, групи ДП-62м _____
(шифр групи)

Коляда Микола Сергійович _____ (підпис)
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник доц., к.т.н. Івашук Анатолій Васильович _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант з нормоконтролю доц., доц., к.т.н. Орлов А.Т. _____

Консультант з інформаційних питань ст. викл., к.т.н. Діденко Ю.В. _____

Рецензент зав. лабораторії с.н.с. к.т.н. Рассамакін Б.М. _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____ (підпис)

Київ – 2018 року

Реферат

Пояснювальна записка до магістерської дисертації містить 82 сторінки, 23 рисунка, 32 таблиці, 19 бібліографічних найменувань.

Актуальність магістерської дисертації обумовлена необхідністю стабілізації температури всередині космічного апарату. Необхідність у стабілізації температури пов'язана з належною функціональністю космічного апарату.

В даній роботі були розглянуті системи забезпечення теплового режиму (СЗТР) для супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Були описані вимоги до створення СЗТР для космічних апаратів (КА). Були представлені компоненти СЗТР та їх призначення.

В якості досліджуваного об'єкта було обрано тонкоплівковий нагрівник. Представлені різновиди нагрівників, призначення кожного, їх переваги та недоліки. Також проаналізовані методи контролю нагрівників.

Описані вимоги до створення нагрівників. На основі цих вимог були визначені експлуатаційні характеристики та параметри нагрівника для космічного апарату типу «Січ – 1М».

Представлена конструкція та технологічний маршрут виготовлення нагрівника. Виготовлено тестовий зразок, який пройшов ряд експлуатаційних дослідів. За результатами дослідів зроблено висновки, щодо дієздатності даного нагрівника.

Виготовлений тестовий зразок був досліджений на наявність автоматичної стабілізації, плавність нагріву при різних умовах температурної експлуатації. Також були проведені дослідження тестового зразка при умовах різкої тепловтрати об'єкта нагріву. Після проведеного дослідження проведено аналіз отриманих характеристик.

Отримані результати були представлені на міжнародній конференції молодих вчених з прикладної фізики (ICAP 2016), міжнародній науково-технічній XI конференції молодих вчених «Електроніка 2018», а також був поданий патент на корисну модель «Тонкоплівковий нагрівник»

Ключові слова: Системи забезпечення теплового режиму, супутник дистанційного зондування Землі, тонкоплівковий нагрівник, картриджний нагрівник, космічний апарат, система терморегулювання.

Abstract

The explanatory note to graduate work contains 80 pages, 22 pictures, 32 tables, 16 bibliographic items.

The urgency of the master's thesis is due to the need to stabilize the temperature inside the spacecraft. The need to stabilize the temperature is due to the proper functionality of the spacecraft.

This paper examined thermal regulation system (TRS) for satellite remote sensing (RS). Been described requirements for creating TRS spacecraft (SC). Were presented TRS components and their purpose.

As the investigated object was selected thin film heater. Varieties of the heaters were represented, the purpose of each, their advantages and disadvantages. Also analyzed the methods of heaters functionality control.

The requirements for creating heaters were described. Based on these requirements performance and heater options were determined for spacecraft such as "Sich - 1M".

The design and technological route of the heater manufacturing was presented. The test specimen was made, held a number of operational experiences. Regarding to the results of experiments the conclusions of the heater performance was made.

The manufactured test specimen was tested for automatic stabilization, smoothness of heating under various temperature conditions. Also, research was carried out on a test sample under conditions of a sharp heat loss of the heating object. After the carried out research the analysis of the received characteristics was made.

The obtained results were presented at the International Conference of Young Scientists in Applied Physics (ICAP 2016), the International Scientific and Technical XI Conference of Young Scientists "Electronics 2018", and also a patent for a utility model "Thin Film Heater"

Keywords: Thermal regulation system, satellite remote sensing, thin film heater, cartridge heater, spacecraft thermal control system.

Зміст

Перелік скорочень	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ	9
1.1 Основні положення	9
1.2 Зовнішній теплообмін	11
1.3 Внутрішній теплообмін	13
1.4 Компоненти СЗТР космічного апарату	16
1.5 Висновки до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2. НАГРІВНИКИ	23
2.1 Типи нагрівників	23
2.2 Матеріали нагрівників	25
2.2.1 Ніхром	26
2.2.2 Сталь	27
2.2.3 Залізохромоалюмінієві сплави	27
2.2.4 Неметалеві нагрівники	28
2.2.5 Керамічні нагрівники	29
2.2.6 Поліімідні плівки	30
2.3 Контроль нагрівників	32
2.4 Основні вимоги при розробці тонкоплівкового нагрівника	36
2.5 Параметри та експлуатаційні характеристики нагрівника	37
2.6 Приклади тонкоплівкових нагрівників	39
2.6.1 Тонкоплівкові нагрівники на основі оксиду індій-олова	39
2.6.2. Тонкоплівкові нагрівники на основі NiCr	41
2.6 Висновки до розділу 2	44

3. РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ НАГРІВНИКА	45
3.1 Конструкція	45
3.2 Виготовлення каналів нагрівника.	47
3.3 Монтаж.....	52
3.4 Принцип дії нагрівника.	53
3.5 Контроль параметрів.....	54
4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	65
4.1. Опис ідеї проекту	65
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	67
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	68
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	74
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	76
4.6 Висновки	79
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ.....	81

Перелік скорочень

LCD – liquid crystal display, рідко-кристалічний екран.

ДЗЗ – дистанційного зондування Землі.

ЕВТІ – екранновакуумна теплоізоляція .

КА – космічний апарат.

ПЕ – поліетилен.

ПЕТФ – поліетилентерефталатна плівка.

СЗТР – система забезпечення теплового режиму.

СПТР система пасивного терморегулювання.

ССІЧ – сканер середнього інфрачервоного діапазону.

СТР – система терморегулювання.

ТКО – температурний коефіцієнт опору.

ОМБ – оптико-механічний блок.

ВСТУП

Дослідження поверхні Землі - актуальне на сьогоднішній день завдання у сфері господарської діяльності, а також в області наукових досліджень іоносфери і магнітосфери. Для виконання даного завдання були розроблені оптико-електронні супутникові системи дистанційного зондування Землі. Одним з перших подібних супутників був IKONOS, основним завданням якого було створення і оновлення топографічних карт і планів. У міру вдосконалення супутників вони могли виконувати все більшу кількість завдань. Наприклад, український супутник «Січ-1М» був призначений для дослідження провісників землетрусів; американський супутник Formosat-2 здійснював постійний моніторинг екологічного стану територій в районах видобутку, переробки, транспортування нафти і газу, інших корисних копалин; французький супутник SSOT виконував функції екологічного контролю навколишнього і управління містобудівними процесами [1].

При створенні космічних апаратів потрібно враховувати не тільки «взаємини» апарату і космосу, але і всіх приладів і пристроїв всередині, а також і орієнтацію супутників щодо джерел випромінювання. Для того щоб одні не нагрівали інших, а треті не замерзали, і щоб підтримувалася робоча температура на борту, розробляється окрема службова система. Вона називається «Система забезпечення теплового режиму» або СЗТР. У неї можуть входити нагрівачі, холодильники, радіатори, тепловідводи, датчики температури і спеціальні комп'ютери. Розрізняють активні і пасивні системи термостабілізації. Пасивні системи відповідають за захист від прямого сонячного випромінювання і небажаних втрат тепла. Активні - для термостабілізації окремих компонентів супутника [2].

РОЗДІЛ 1. СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ

1.1 Основні положення

Система забезпечення теплового режиму космічного апарату (СЗТР) – комплекс засобів в складі космічного апарату (КА) для забезпечення його теплового режиму в процесі автономного польоту. До складу СЗТР в загальному випадку входять як засоби активного регулювання теплообміну і перенесення теплоти, так і засоби пасивного терморегулювання - конструктивні елементи, що організують теплообмін випромінюванням і теплопровідністю (покриття або обробка, що забезпечують певні оптичні характеристики поверхонь, теплової ізоляцію і теплозахист і т.д.). [3]

Підтримка заданого теплового режиму здійснюється організацією як зовнішнього теплообміну КА з навколишнім простором, так і внутрішнього теплообміну і розподіл теплоти між елементами КА. Однак тепловий стан КА визначається не тільки спеціально організованими тепловими зв'язками, але в істотному ступені і теплофізичними властивостями всіх конструктивних елементів, що утворюють КА. Тому поняття "система" стосовно СЗТР носить дещо умовний характер, так як результати роботи системи, її склад та параметри нерозривно пов'язані з властивостями конструкції, тепловий стан якої вона організовує. Іншими словами кажучи, в організації теплового стану КА бере участь не тільки СЗТР, але всі його елементи: зовнішнє обладнання, корпус, рами, агрегати, прилади тощо У цих умовах, з урахуванням різноманіття і різнорідності вимог до теплового режиму різних частин КА створення СЗТР неможливо без виконання основного принципу - формування стабілізованого теплового стану обмеженого числа елементів апарату, що дозволяє шляхом організації теплових зв'язків з такими елементами стабілізувати в заданих межах температури інших приладів і агрегатів. Наприклад, застосовуючи спеціальні засоби для регулювання температури корпусу або газового середовища і, створюючи умови для інтенсивного теплообміну приладів з корпусом або газовим середовищем, можна домогтися збереження температур цих приладів у суворо визначених межах.

Причому діапазон температур буде цілком визначатися з одного боку температурою терморегульованого елемента, а з іншого - інтенсивністю теплообміну приладу з цим елементом. Діапазон регулювання температури таких елементів вибирається з урахуванням усієї сукупності температурних вимог до обладнання, яке передбачається забезпечувати шляхом теплового сполучення з ними. Правильний вибір базових, опорних температур і скорочення кількості службових елементів спрощують систему забезпечення теплового режиму, підвищують її надійність і роблять більш простий організацію процесів терморегулювання. У великих і складних КА ефективним засобом подібної організації теплового режиму є проміжний газовий або рідкий теплоносій, який конструктивно зв'язується з зонами теплового забезпечення за допомогою різного роду теплообмінних пристроїв. [4]

1.2 Зовнішній теплообмін

Теплообмін випромінювання – єдиний вид теплообміну КА за навколишнім його середовищем (якщо виключити процеси, пов'язані з викидом мас) є теплообмін випромінюванням. Поверхня КА поглинає падаючу на неї променисту енергію і в свою чергу випромінює в навколишній простір енергію, що дорівнює сумі поглиненої і підведеної зсередини. Для КА, що знаходяться в околицях планет, що мають атмосферу, зовнішнім джерелом нагрівання може стати тепла енергія, що виділяється як при зіткненні його поверхні з молекулами газу, так і за рахунок рекомбінації на його поверхні дисоційованих молекул. Для Землі ця енергія істотна на висотах менше 200 км, а на висотах понад 250 км вона настільки мала, що практично не впливає на температуру поверхні КА.

Зазвичай при розрахунку теплообміну між тілами, що мають близькі температури, вважають, що ступінь чорноти поверхні дорівнює коефіцієнту поглинання падаючого теплового потоку.

Особливість процесів теплообміну в космічному просторі полягає в тому, що вони відбуваються між тілами, що мають суттєво різні температури: Сонце - основне джерело теплової енергії, має ефективну температуру поверхні близько 5800 К, поверхні КА і планет - температуру порядку сотень кельвінів, «чорний» космічний простір - температуру, близьку до 4 К.

Основна частка енергії сонячного випромінювання (~ 92%) припадає на діапазон довжин хвиль від 0,3 до 3 мкм, а основна частка енергії випромінювання планет і поверхонь КА - на діапазон довжин хвиль понад 4 мкм.

Для селективно-випромінюючих матеріалів коефіцієнт поглинання падаючого теплового потоку істотно залежить від діапазону довжин хвиль, в якому переноситься цей тепловий потік. Тому для таких матеріалів в загальному випадку коефіцієнт поглинання сонячної радіації A_S не дорівнює ступеню чорноти. Коефіцієнти A_S і e зазвичай називають тепловими радіаційними характеристиками поверхні. Підбираючи матеріали з одним і тим же ступенем чорноти, але з різними коефіцієнтами поглинання сонячної радіації, можна, при інших рівних умовах, отримувати різні температури поверхні, що освітлюється

Сонцем.

Тепловий потік, що йде від планети, складається з власного випромінювання і відбитої від планети сонячної радіації. Коефіцієнт поглинання відбитої від планети сонячної радіації в силу своєї природи близький до коефіцієнта поглинання сонячної радіації A_S , а коефіцієнт поглинання власного випромінювання планети може бути прийнятий рівним ступеня чорноти e поверхні КА, так як випромінювання обох тіл доводиться в загальному випадку на один і той же діапазон довжин хвиль. [5]

1.3 Внутрішній теплообмін

Внутрішній теплообмін повинен забезпечити відведення тепла від тепловиділяючих приладів і перенесення його до радіаційних поверхонь КА, а також перерозподіл тепла між різними елементами КА, зокрема між оболонками, що знаходяться в теплообміні з навколишнім простором.

При відсутності в КА спеціальних засобів перенесення тепла між його елементами теплообмін здійснюється випромінюванням між поверхнями і теплопровідністю по елементах конструкції або середовища, що заповнює герметичний об'єм (за відсутності засобів, що забезпечують примусову циркуляцію, практична відсутність вільної конвекції при польоті по орбіті просто перетворює газ або рідину в середовище, якій властива тільки теплопровідність).

Випромінюванням на 1 К перепаду між двома «чорними» паралельними пластинами при температурі близько 300 К можна передати близько $5,5 \text{ Вт/м}^2$ теплової енергії. Променистий теплообмін малоприсадний при передачі тепла в «захарашеному» обсязі або при охолодженні елементів (наприклад, радіоелектронної апаратури), що мають густини тепловиділення декілька ват на квадратний сантиметр.

Передача тепла через спеціальні металеві теплопроводи дозволяє істотно збільшити інтенсивність теплових потоків, але вимагає значних витрат маси. Часто, в якості теплопроводів використовують елементи конструкції, а спеціальні теплопроводи - як правило, при передачі тепла на невеликі відстані. Це змушує шукати шляхи примусового перенесення тепла; найбільш простим з них є перенесення тепла газом, які рухається за допомогою вентиляторів в герметичних контейнерах.

Однак коефіцієнт тепловіддачі від газу до стінки при його русі з невеликими швидкостями порівняно невеликий (в плоскій щілині шириною 10 мм він становить всього близько 8 Вт/м^2). Тому для інтенсифікації теплообміну необхідно робити щілини вужчими або встановлювати ребра, що веде до збільшення маси конструкції і потужності вентиляторів, що забезпечують рух газу.

Збільшити коефіцієнт тепловіддачі від газу до стінки в 5-6 разів можна за рахунок заправки герметичних контейнерів гелієм, проте багато електронних приладів в атмосфері гелію працювати не можуть.

В КА з тепловиділяючою апаратурою, розташованою в негерметичних відсіках, для передачі великої кількості тепла на ізольовану радіаційну поверхню або відведення (підведення) тепла від джерел великої потужності з великою питомою густиною тепловиділення використовують рідкі теплоносії, що циркулюють в трубопроводах рідинних контурів.

При підтримці температур циркулюючого теплоносія в заданих межах, теплоносій, крім перенесення тепла буде стабілізувати і температуру елементів, що мають безпосередній тепловий контакт з ним. Так, прилади, які потребують охолодження, встановлюють на спеціальні плати, через які циркулює теплоносій, або подають теплоносій безпосередньо в пристрої для охолодження теплонапружених елементів.

В якості теплоносіїв використовують вуглеводні, кремній органічні рідини, фреони, водні розчини етиленгліколю, воду і т. П.

Для передачі тепла на невеликі відстані і відведення його від джерел з великою густиною тепловиділення можуть бути використані теплові труби - пристрої у вигляді замкнутого герметичного об'єкта, заповненого робочим тілом і покритого зсередини змоченою капілярно-пористою структурою. Частина робочого тіла, що заповнює об'єм, знаходиться в паровій фазі, частина - в рідкій, причому остання повинна заповнювати всю капілярно-пористу структуру. Якщо в такому об'єкті є зони з різними температурами, то в зоні підвищеної температури робоче тіло буде випаровуватися, а в зоні зниженої температури - конденсуватися. При цьому за рахунок різниці тисків, викликаной конденсацією, пар із зони випаровування буде переміщатися в зону конденсації, а рідина по капілярно-пористій структурі за рахунок капілярних сил із зони конденсації буде надходити в зону випаровування. У теплових трубах в якості робочого тіла використовують воду (для температур 300 - 400 К), ацетон, фреони, аміак (для температур 200 -

350 К). густина теплового потоку може становити десятки ват на квадратний сантиметр поперечного перерізу теплової труби [5] .

1.4 Компоненти СЗТР космічного апарату

У практичній роботі по створенню СЗТР КА можуть бути виділені два взаємопов'язаних напрямки: розробка системи терморегулювання (СТР) і розробка засобів пасивного терморегулювання.

Під СТР розуміють комплекс засобів, що забезпечують регулювання теплообміну і передачу тепла за допомогою теплообмінних пристроїв і спеціальних агрегатів.

У загальному випадку СТР включає в себе:

– Засоби примусового теплообміну між елементами КА і навколишнім середовищем.

– Засоби регулювання температури (засоби автоматики).

Засоби примусового теплообміну засновані на механізмі примусового конвективного теплообміну і виконуються у вигляді гідравлічних або вентиляційних систем.

Як правило, на борту КА є надлишок тепла, і робота СТР зводиться до скидання тепла в навколишній простір. Однак, для окремих відсіків, які не мають внутрішнього тепловиділення, на тіньових ділянках орбіти може мати місце неприпустиме зниження температури. В цьому випадку СТР повинна забезпечувати підведення теплоти до цих відсіків або від теплонапружених відсіків, або від спеціальних підігрівачів.

КА є складною системою з безліччю елементів, кожен з яких вимагає забезпечення певного температурного режиму. Природно, що безпосереднє регулювання температури всіх елементів КА практично неможливе. Тому основним принципом регулювання температурного режиму КА є формування стабілізованого теплового стану обмеженого числа елементів (як правило, теплоносіїв) і організація теплових зв'язків з такими елементами інших елементів.

Залежно від способу теплообміну з навколишнім середовищем всі СТР діляться на дві великі групи: випарні СТР і радіаційні СТР

У випарних СТР скидання тепла в навколишній простір здійснюється за рахунок використання теплоти пароутворення робочого тіла і викиду його за борт КА.

У радіаційних СТР відведення або підведення тепла здійснюється за рахунок променистого теплообміну радіатора, що омивається теплоносієм, з навколишнім середовищем.

Принципова схема випарної СТР показана на рис. 1.1.

Тепло, що виділяється працюючими приладами 1, передається газу, що заповнює відсік. Вентилятор прокачує газ відсіку через теплообмінник-випарник 9, в який подається холодоагент. Холодоагент, що випарувався через редуційний клапан 10 викидається за борт КА.

В якості холодоагента зазвичай використовується вода. Необхідна температура випаровування холодоагенту забезпечується шляхом підтримки певного тиску в теплообміннику-випарнику 9 за рахунок налаштування редуційного клапана 10. Наприклад, при тиску $0,0065 \dots 0,0075 \text{ кг/см}^2$ вода кипить при температурі $1 \dots 3^\circ\text{C}$.

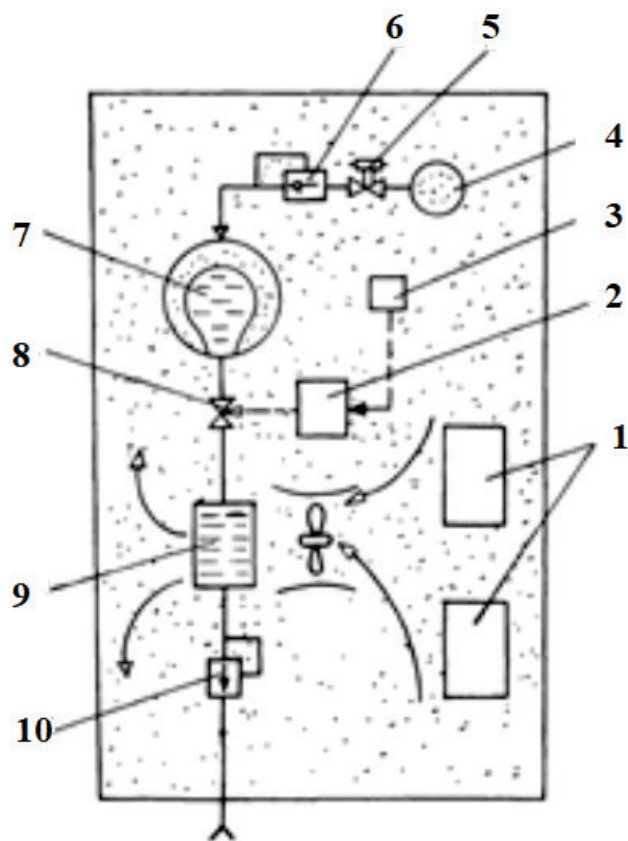


Рисунок 1.1 - Принципова схема випаровуючої СТР [6].

1. прилади;
2. блок управління;
3. датчик температури газу;
4. балон з газом;
5. електропневмоклапан;
6. редуктор;
7. запас холодоагенту;
8. вентиль;
9. теплообмінник-випарник;
10. редукційний клапан;
11. вентилятор.

Регулюючим параметром є температура газу в відсіку, вимірюється датчиком температури газу 3. Інформація від датчика 3 передається в блок керування 2, який змінює витрата холодоагенту через теплообмінник-випарник 9.

Перевагою випаровуючої СТР є простота і надійність системи.

Основний недолік таких СТР – витрата холодоагенту в процесі роботи. Тому випарні СТР використовуються на КА з малим терміном активного функціонування і в якості додаткових у режимі пікових теплових навантажень.

Найбільш широке застосування в СЗТР КА знайшли радіаційні СТР. Принципи побудови і функціонування радіаційних СТР відрізняються великою різноманітністю. [6]

В якості системи пасивного терморегулювання (СПТР) використовуються:

- Терморегулюючі покриття, які наносяться на поверхню КА або окремих його елементів для забезпечення необхідних оптичних характеристик поверхонь (коефіцієнта поглинання сонячного випромінювання і ступеня чорноти). За рахунок вибору терморегулюючого покриття можна змінювати температуру поверхні КА і тим самим створювати умови для підведення або відведення теплоти від зовнішніх елементів КА.

- Теплові екрани призначені для зменшення променевого теплообміну КА з зовнішнім середовищем шляхом відображення променистих теплових потоків. Найбільш широке застосування на КА знайшла екранновакуумна теплоізоляція (ЕВТІ). Вона складається з великого числа теплових екранів (10 ... 100), простір між якими вакуується. В якості екранів (шарів ЕВТІ) використовується поліетилентерефталатна плівка (ПЕТФ) з напиленням алюмінію або алюмінієвої фольги. Між екранами встановлюються прокладки з скловолокна. Екрани зшивають між собою нитками і зовні покривають тканиною ТСОН-3, яка є силовим елементом ЕВТІ. Основними перевагами ЕВТІ є мала маса і простота установки на поверхню КА.

- Термопровідники являють собою пристрої, що збільшують теплообмін теплопровідністю між елементами КА. Вони виготовляються, як правило, у вигляді стрижнів з матеріалів з високою теплопровідністю (мідь, алюміній та інші).

- Термоопори призначені для зменшення теплообміну теплопровідністю між елементами КА. їх виконують зазвичай у вигляді прокладок з матеріалів з низькою теплопровідністю (азбест, полівінілхлорид та

інші).

– Тепловими акумуляторами називаються пристрої, що забезпечують накопичення надлишкової теплової енергії з метою стабілізації температури елементів КА або теплоносіїв. Принцип дії теплових акумуляторів, як правило, ґрунтується на використанні робочих речовин, температура плавлення яких близька до номінальної температури елементів КА. При збільшенні тепловиділення всередині елемента відбувається плавлення робочої речовини. При зниженні тепловиділення робоча речовина переходить з рідкого стану в твердий. Оскільки ці процеси протікають при постійній температурі, забезпечується стабілізація температур елементів КА поблизу номінального значення. [7]

За своєю структурою, складом агрегатів і виконуваних функцій система терморегулювання є найбільш важливою і складною частиною системи забезпечення теплового режиму на борту КА.

Розглянемо основні компоненти СЗТР.

- Оптичний сонячний відбивач. Використовується в якості радіатора.
- Нагрівники. Підтримують певну температуру компонентів КА.
- Космічні радіатори. Випромінюють надлишкове тепло КА в космос.
- Плита з системою охолодження.
- Фазообертачі. Використовуються у випадках, коли тепло генерується короткими імпульсами.
- Теплові труби. Використовуються для передачі тепла з однієї області в іншу.
- Жалюзі. Захисний радіаторний шар для уповільнення витоку тепла в космос.
- Температурні сенсори. Розрізняють термістори та резистивні термометри. Використовують для регулювання і стабілізації температури компонента чи КА в цілому.
- Наповнювачі. Використовуються для заповнення порожнеч сформованих поверхневими піками та западинами, що виникають в області

контакту.

- Термоізолятори. Низькопровідні матеріали, які використовуються для ізоляції компонентів від корпусу космічного апарату.

- Кріогенні системи. Використовуються для охолодження до низьких температур ($<100\text{ K}$).

Максимальна ефективність СЗТР може бути досягнута тільки за умови правильного підбору складу і параметрів як засобів пасивного терморегулювання, так і СТР. При цьому, безумовно, мають бути дотримані деякі основні принципи такого підбору, найважливішими з яких вважаються наступні:

- мінімальна маса системи в межах заданих вагових обмежень;
- стабільність теплофізичних властивостей засобів пасивного терморегулювання у всьому діапазоні робочих температур і на протязі всього періоду експлуатації;

- максимальне зменшення можливого діапазону зовнішніх теплових збурень на апарат у всіх режимах його роботи;

- організацію такої схеми теплообміну КА і регулювання його температури, яка може бути досліджена аналітично і при необхідності перевірена експериментально в межах можливостей наземного експериментального обладнання;

- створення в схемі необхідних запасів для ліквідації наслідків можливих відмов чи аварійних ситуацій;

- забезпечення необхідної надійності системи;

- забезпечити стійкість процесів регулювання при всіх рівнях очікуваних зовнішніх і внутрішніх теплових збуреннях;

- максимальну автоматизацію процесів терморегулювання; максимальну простоту системи і її агрегатів;

- мінімальна потреба в інформації для надійного оперативного контролю стану системи і теплового режиму КА.[8]

1.5 Висновки до розділу 1

В даному розділі було розглянуто принципи зовнішнього і внутрішнього теплообміну космічного апарату, а також параметри які їх характеризують.

Було розглянуто систему забезпечення теплового режиму космічного апарату та її призначення. Також описані вимоги до створення СЗТР. Можна зробити висновки, що оптимальні вагові характеристики СЗТР, як, втім, і КА можуть бути досягнуті тільки в процесі спільного проектування КА і СЗТР. Накладення засобів забезпечення теплового режиму на конструкцію, розроблену без урахування теплових взаємодій між елементами КА, без правильної конструктивної організації теплообміну у внутрішньому обсязі КА ніколи не може дати оптимального вирішення задачі створення КА, призначеного для тих чи інших завдань. Тільки спільність конструктивного і теплового аналізу загальної схеми КА є необхідною передумовою створення найбільш економічної щодо масових і енергетичних витрат і найбільш ефективною щодо функціональних можливостей конструкції КА. Правильний вибір конструкційних матеріалів з урахуванням їх теплопровідності і теплоємності, розміщення обладнання з урахуванням рівня їх тепловиділень і вимог до відведення тепла, раціональний розподіл КА на відсіки - ці напрямки проектування є основоположними у вирішенні проблеми забезпечення теплового режиму, так як призводять до спрощення СЗТР.

Широкого застосування, в якості СТР, знайшли нагрівники через просту та дешеву технологію виготовлення, компактність та стабільність.

Далі буде розглянутий тонкоплівковий нагрівник систем стабілізації оптико-електронного супутника дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) типу Січ-1, в яких він призначений для забезпечення сталої температури оптико-механічного блоку.

РОЗДІЛ 2. НАГРІВНИКИ

2.1 Типи нагрівників

В ідеальних умовах, тепловий контроль супутника або його компонентів буде досягнута тільки за рахунок пасивних методів, таких, як використання обробки поверхні. Однак, зміни в навколишньому середовищі, разом з деградацією обробленої поверхні, можуть змінювати робочий діапазон температур пасивної системи. Це може призвести до виходу з ладу компонента чи самого КА. Тому, для захисту, використовуються нагрівачі. Інший поширений спосіб використання нагрівачів - розігрів компонентів до робочих температур до того, як вони будуть увімкнені.

Розрізняють два типи нагрівників. Найбільш поширеним типом нагрівника є тонкоплівковий нагрівник. Загальний вигляд тонкоплівкового нагрівника показано на рис 2.1. Тонкоплівковий нагрівник складається з резистивного елемента затиснутого між двома шарами гнучкого електроізоляційного матеріалу, наприклад, каптон. Нагрівник може мати один або декілька контурів, в залежності від необхідності резервування систем термостабілізації. Резервування, як правило, необхідне для систем космічних апаратів (КА), так як схеми нагрівника можуть вийти з ладу.

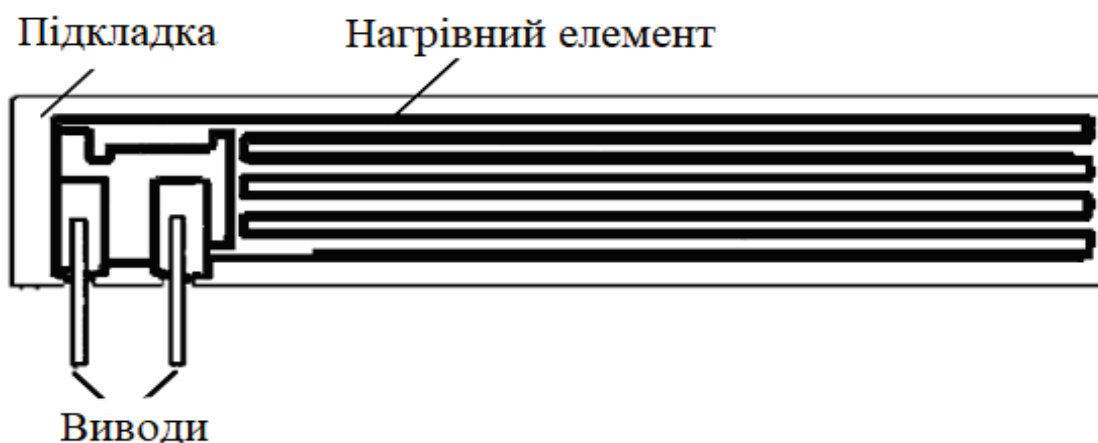


Рисунок. 2.1. Загальний вигляд тонкоплівкового нагрівника.

Іншим типом нагрівника є нагрівник картридж, який використовується для нагрівання блоку матеріалів або високотемпературних компонентів, таких як гідразинові маневрові системи каталітичних шарів. Такий нагрівник, показаний на рис. 2.2.

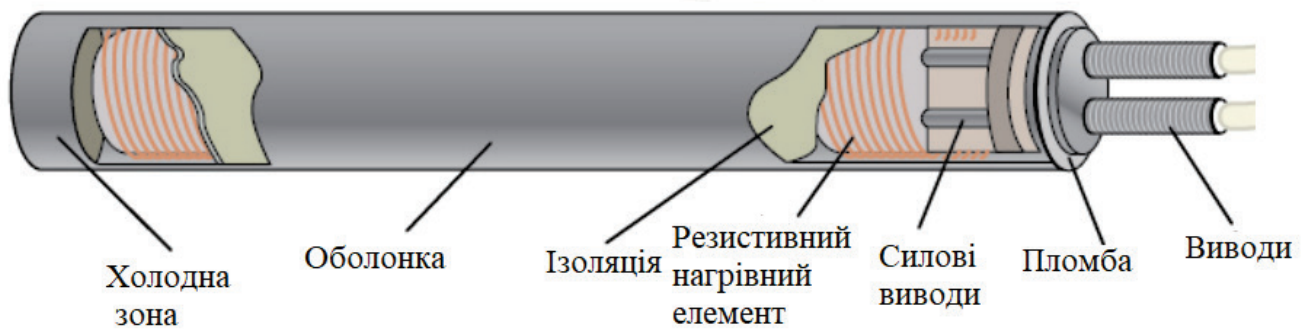


Рисунок. 2.2. Нагрівник картриджного типу [9].

Як правило, для нагрівання компонента, в ньому просвердлюють отвір і в нього кладуть картридж. Інший метод кріплення включає в себе використання фіксатора або невеликого кронштейна, щоб тримати нагрівач. [9]

2.2 Матеріали нагрівників

Нагрівні елементи, так само як і жаротривкі матеріали, працюють в зоні високих температур, але, крім того, до них пред'являються особливі вимоги по електричним властивостям [10]:

1. Жаростійкість. Вони не повинні окислюватись під дією кисню повітря в умовах високих температур.

2. Достатня жароміцність - механічна міцність при високих температурах. Матеріали для нагрівальних елементів не є конструкційними матеріалами, тому їх механічна міцність може бути порівняно невелика; досить, щоб виготовлені з них нагрівники були в змозі підтримувати самі себе, даючи при цьому малі деформації.

3. Великий питомий опір. Чим менше питомий електричний опір матеріалу нагрівника, тим більше довжина виконаного з нього нагрівника і тим менше повинен бути його поперечний переріз. Такий тонкий і довгий нагрівник конструктивно незручний і його термін служби невеликий. Тому бажано, щоб метали для нагрівників мали якомога більший питомий електричний опір.

4. Малий температурний коефіцієнт опору. Чим більше цей коефіцієнт, тим більша різниця в електричному опорі гарячого і холодного нагрівника. Майже всі матеріали мають позитивний температурний коефіцієнт опору, і зі збільшенням температури їх питомий опір зростає. Так як для чистих металів температурний коефіцієнт опору близько 0,4% на кожен градус, то це дає чотириразове збільшення опору нагрівника при нагріванні до 1000 °С в порівнянні з холодним станом і, отже, пусковий поштовх струму матиме чотириразове значення в порівнянні з номінальним струмом. Тому необхідно, щоб матеріал для нагрівальних елементів мав якомога менший температурний коефіцієнт опору, і саме тому більшість цих матеріалів є сплави, а не чисті метали.

5. Постійність електричних властивостей. Деякі матеріали з плином часу в роботі змінюють свої електричні властивості, вони старіють, їх питомий опір збільшується, а отже, потужність нагрівника падає.

6. Сталість розмірів. Деякі матеріали схильні до повзучості і з плином

часу сильно зростають, тобто виконані з них нагрівники подовжуються. Це призводить до конструктивних незручностей і необхідності передбачати при конструюванні нагрівника можливість його подовження іноді до 30 - 40%.

7. Оброблюваність. Металеві матеріали для нагрівників повинні давати можливість виготовити з них стрічку і дрiт різних перетинів, навивати з них спіралі, зварювати нагрівники між собою і приварювати до них виводи.

Матеріали для нагрівальних елементів виконуються у вигляді стрічки, дроту і стрижнів. Крім того, нагрівники виконуються іноді литими або штампованими.

2.2.1 Ніхроми

Основними матеріалами для нагрівальних елементів, спеціально розробленими для цієї мети і тому в максимальному ступені задовольняють вищевказаним вимогам, є сплави нікелю, хрому та заліза, які називаються «ніхроми» [11].

Ніхром, що є подальшим розвитком хромнікельової жаротривкої сталі, є вельми жаростійким матеріалом, оскільки він має міцну захисну плівку з окисду хрому Cr_2O_3 з температурою плавлення більшою, ніж у сталі, і добре витримує періодичні нагрівання і охолодження. Крім того, він має стабільні механічні властивості при високих температурах, кріпостійкість і достатня пластичність, так що він легко обробляється і, зокрема, добре зварюється. Ніхром володіє високим питомим опором, малим температурним коефіцієнтом опору, у нього відсутні явища старіння і зростання. Чим більше вміст хрому в сплаві, тим більше його захисній плівці вміст Cr_2O_3 , тим вона більш тугоплавка і тим краще матеріал протистоїть окисленню. Але зі збільшенням вмісту хрому погіршується одночасно оброблюваність матеріалу. Тому, як правило, вміст хрому в них не перевищує 20%.

Додавання заліза в сплав кілька покращує його оброблюваність і збільшує питомий опір, але погіршує його температурний коефіцієнт опору і значно знижує жаростійкість. Проте в тих випадках, коли робоча температура не перевищує $1000^{\circ}C$, допустимо користуватися потрібним (нікель-хром-залізо) сплавом, так як він дешевше і містить менше нікелю [12].

2.2.2 Сталь

Висока вартість ніхрому привела до інтенсивних пошуків інших сплавів, більш дешевих і доступних і здатних в той же час замінити його в тих чи інших умовах. Безумовно, найдешевшим і доступним матеріалом була б звичайна сталь. Однак широкого і тривалого застосування сталь не знайшла через невідповідність основним вимогам, що пред'являються до матеріалів нагрівників. Основним недоліком стали є її великий температурний коефіцієнт опору, що досягає 10×10^{-3} . Крім того, сталь кородує. Недоліком стали є і нестандартність її електричних властивостей, сильно коливається навіть в межах однієї марки сталі, що ускладнює розрахунок нагрівників. Все це виключає застосування сталі для нагрівників у звичайних умовах.

2.2.3 Залізохромоалюмінієві сплави

Пошуки більш дешевих сплавів для нагрівників привели до появи залізохромоалюмінієвих сплавів.

Завдяки високому вмісту хрому і алюмінію вони можуть бути навіть більш жаростійкими в порівнянні з ніхромом і можуть працювати до 1300°C і навіть до 1350°C [10]. Проте, ці сплави надзвичайно тендітні і неміцні.

Крім своєї крихкості, залізохромоалюмінієві сплави менш міцні при високих температурах у порівнянні з ніхромом, тому виконані з них нагрівники доводиться конструювати таким чином, щоб вони були максимально розвантажені від всякого роду механічних навантажень, в тому числі і від власної ваги. Великим недоліком цих сплавів є їх чутливість при високих температурах до окислам заліза, які руйнують утворену на них захисну плівку з оксидів алюмінію і хрому.

Іншими недоліками залізохромоалюмінієвих сплавів є значне збільшення їх розмірів при експлуатації, зростання довжини нагрівника, яке може досягати 30 - 40%.

Старіння у залізохромоалюмінієвих сплавах помірне (15 - 25%). На відміну від хромонікелевих сталей вони магнітні.

2.2.4 Неметалеві нагрівники

З неметалічних нагрівників найбільшого поширення набули сіліт і глобар .

Сілітові і глобарові нагрівники представляють собою карборундові стрижні, що відрізняються один від одного як конструктивним виконанням так і технологією виготовлення. Карборунд добре витримує 1400 – 1450°C.

Його питомий опір змінюється у великих межах і досягає у рівних типів нагрівників $4 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-3}$ Ом×м

Сілітові і глобарові стрижні в вигрітому етапі крихкі і маломіцні і вимагають обережного поводження. Вони чутливі до швидкого нагріву.

Термін служби карборундових нагрівників при 1400°C складає 1000-2000 годин, при температурах понад 1400°C він різко падає, і навпаки, при температурах 1200-1300°C він збільшується в 2-3 рази. Внаслідок нерівномірності старіння стрижнів їх не можна включати послідовно.

Опір карборундових нагрівників у холодному стані набуває значення в 4 рази більше мінімального. Карборундові нагрівники вкрай чутливі до навколишнього середовища. У повністю інертній атмосфері (аргон, гелій) вони можуть працювати до 1650°C. У повітряній атмосфері і в вуглекислому газі вони можуть працювати до 1400°C, в атмосфері з окисом вуглецю або з воднем до 1300°C, в вакуумі гранична температура дорівнює лише 1200°C, при 130×10^{-3} Па навіть 1100°C. Різко знижують стійкість карборундових нагрівників водяні пари.

Високотемпературні нагрівники виконуються також на основі дисиліцида молібдену (MoSi_2) методом порошкової металургії. Вони мають низький питомий опір 3×10^{-7} Ом×м і високий електричний температурний коефіцієнт. У окислювальній атмосфері вони можуть працювати при температурах на нагрівнику до 1700°C. З огляду на малий питому опору нагрівники з дисиліцида молібдену виконуються тонкими, діаметром 6 мм. Так як вони порівняно неміцні, то їх виконують зазвичай у вигляді шпильок.

При горизонтальному розташуванні нагрівника він починає прогинатися, тому при такій конструкції його робочу температуру необхідно обмежувати 1300°C. У вакуумі робоча температура нагрівника з дисиліцида молібдену

знижується тим більше, чим глибше вакуум, так при тиску близько 133 Па гранична робоча температура становить 1400°C, а при тиску 133×10^{-4} Па тільки 1200°C.

Основним недоліком нагрівників з дисиліцида молібдену, крім їх малої механічної міцності як в нагрітому, так і холодному стані, і малого питомого електричного опору, є їх висока вартість.

І вугілля, і графіт інтенсивно окислюються при нагріванні на повітрі, тому з ними можна працювати або в захисній атмосфері, або в розрахунку на досить короткий термін служби.

Питомий опір вугілля злегка знижується при його нагріванні, а потім залишається майже без зміни.

У високотемпературних печах широко застосовуються жаростійкі метали, такі як молібден, вольфрам, ніобій, тантал. Всі ці матеріали високореактивні. Вони інтенсивно окислюються в повітряній атмосфері, тому їх можна застосовувати лише в високовакуумних печах або печах з чистою, наприклад водневою, захисною атмосферою.

Молібден інтенсивно розпорошується в вакуумі при високих температурах.

Вольфрамові нагрівники виконуються зазвичай у вигляді циліндрів (суцільних або з ряду паралельних дротів).

2.2.5 Керамічні нагрівники

При роботі з керамікою необхідно враховувати ефект пересихання. Він полягає в тому, що під впливом високих температур даний матеріал спочатку тріскається, потім розсипається.

Використовуючи цю технічну кераміку показники питомої потужності можуть досягати: для кільцевих нагрівників - 9 Вт/см², для патронних - 10 Вт/см². В нагрівниках використовуються наступні типи технічної кераміки [10]:

– периклаз (MgO) – мінерал, оксид магнію. Використовується як ізоляційний або вогнетривкий матеріал (температура плавлення від 2800 до 2940°C), має високий електричний опір, володіє чудовими теплопровідними властивостями. Завдяки властивостям периклаза даний вид кераміки використовується при виробництві патронних нагрівників. Геометрія компонентів забезпечує поділ між провідниками, нагрівальним елементом і оболонкою, або - оболонкою, провідником і термопарою.

– кордієрит – мінерал, зустрічається у вигляді призматичних кристалів, сировина для кераміки. Матеріали на основі кордієрита мають виключно високу термостійкість, мають відмінні термічними і електричними властивостями, мають високу стійкість до теплоудару (швидкість зміни температури більше 2°C/c). Саме завдяки цим властивостям кордієрит найкращим чином підходить для виробництва високоякісних керамічних інфрачервоних випромінювачів.

– технічний фарфор – це силікатний керамічний матеріал на основі каолінових глин. Технічний електрофарфор (кварцовий фарфор і пресфарфор) широко використовується в електротехніці. Він має наступні властивості: висока стійкість на пробій, навіть при впливі вологи; стійкість до струмів поверхневої витoku; абсолютно стійкий до температур до 1 000 ° C (не горить); може працювати в хімічно агресивних середовищах; має високу механічну міцність [13].

2.5.6 Поліімідні плівки

Плівка характеризується високими фізико-механічними показниками. Вона еластична в широкому діапазоні температур. Має високу довготривалу міцність і низьку повзучість. Поліімідна плівка відноситься до антифрикційних матеріалів. Вона не розчиняється в органічних розчинниках, стійка в оліях, руйнується (гідролізується) під дією концентрованих кислот і лугів. Має високу радіаційну стійкість.

Основною особливістю цього матеріалу є здатність зберігати механічні та електроізоляційні властивості в широкому інтервалі температур (від -200 до +400°C).

Використання її в якості електроізоляції дозволяє збільшити питому потужність і надійність електромашин, механізмів і приладів, підвищує температуру їх експлуатації, зменшує обсяг і вагу. Плівка добре металізується [13].

2.3 Контроль нагрівників

Майже у всіх нагрівників передбачений контроль. Це, як правило, робиться за допомогою реле, яке контролюється с Землі [14]. За допомогою реле вмикається чи вимикається сам нагрівач. Реле також виконує функцію захисту космічного апарату від короткого замикання.

Також здійснюється контроль за температурою. За допомогою термостату або твердотільного регулятора нагрівник налаштовується на включення чи вимкнення при певних температурах. У більш складних супутниках бортові комп'ютери здійснюють моніторинг зміни температури і вмикають нагрівник на певний проміжок часу за допомогою реле.

Найпростіший пристрій управління включає в себе тільки сам нагрівач, запобіжник та реле наземного управління. Така конструкція використовується для нагрівників, розроблених для якихось спеціальних подій, чи для нагрівників тривалого використання.

Найпоширеніше застосування — це нагрівання каталітичного шару гідразинового двигуна (рис. 2.3) до 100°C поки двигун не запалиться (запалення двигуна при низьких температурах знижує термін служби каталізатора). Нагрівач вмикається, нагрівається каталітичний шар і запалюється двигун.

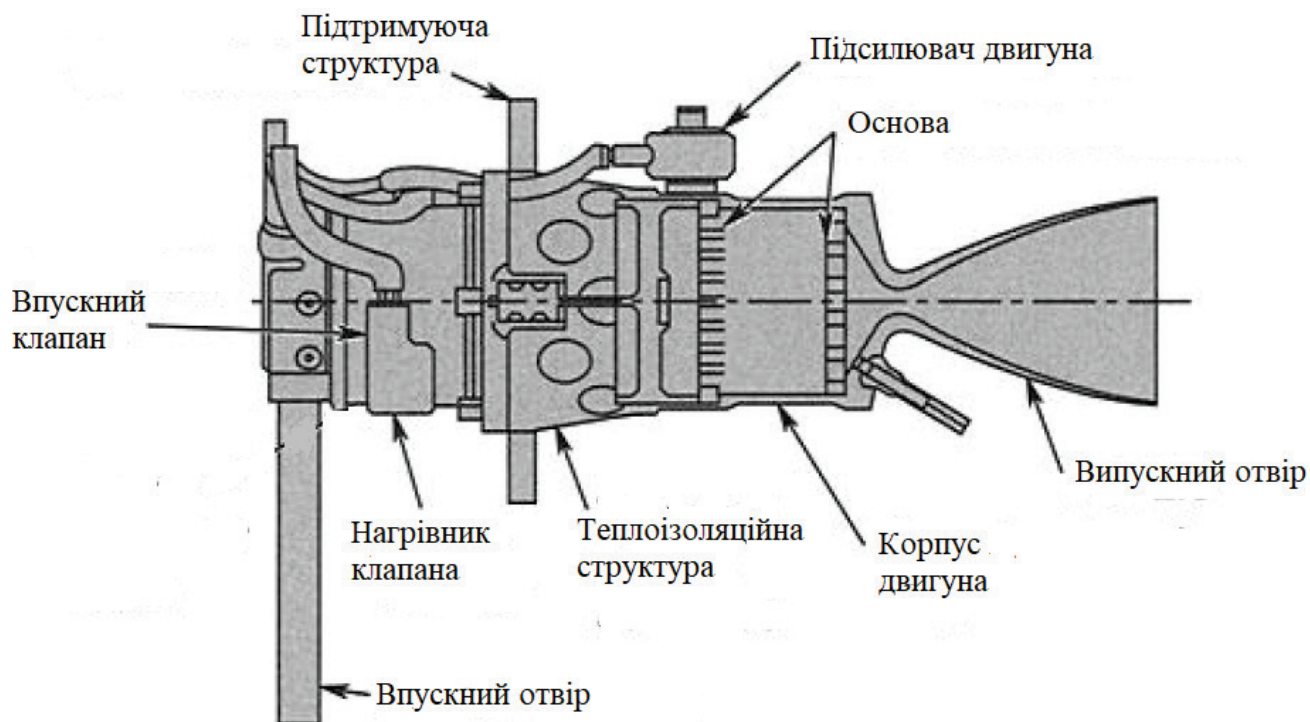


Рисунок. 2.3 - Гідразинний двигун з нагрівником [14].

Більшість нагрівачів потребують деякого автоматичного управління для того, щоб підтримувати певну температуру компонента і щоб мінімізувати кількість часу, коли нагрівач знаходиться у ввімкненому стані, тим самим зменшити споживання енергії. Найбільш широке застосування знайшли механічні термостати Elmwood, зображені на рис. 2.4. Температура вмикання термостату відома для кожної моделі.

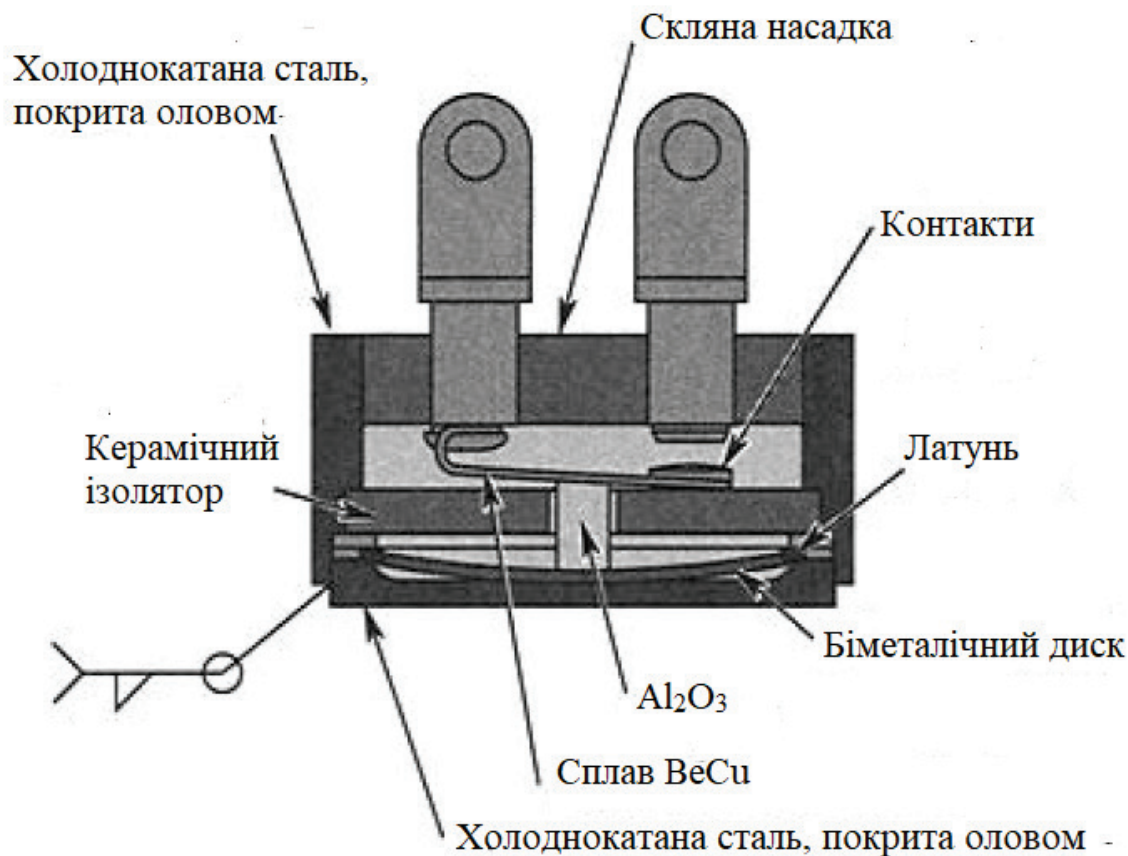


Рисунок 2.4 - Механічний термостат Elmwood [14].

Незважаючи на високу надійність термостатів, через їх велику кількість на супутнику, час від часу можуть виникати збої. Через цей ризик, а також через зростаючі вимоги до часу життя супутника, все більшої популярності набирають твердо тільні контролери. Такий контролер (рис 2.5) замінює механічний вимикач електронним пристроєм, який має більш високу надійність та час життя.

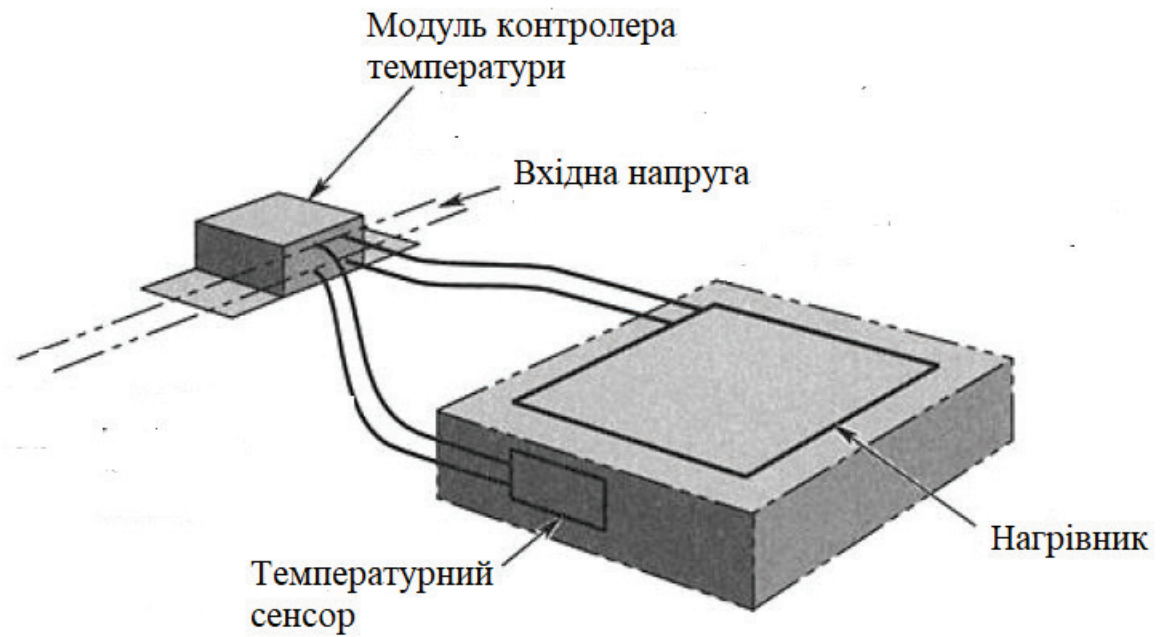


Рисунок 2.5 - Твердотільний контролер Таусо [14].

Твердотільні контролери використовуються на космічному телескопі Хаббл та на міжнародних космічних станціях.

2.4 Основні вимоги при розробці тонкоплівкового нагрівника.

Для належного функціонування нагрівника в супутнику ДЗЗ, повинен виконуватися ряд вимог:

Загальні конструктивно-технічні вимоги:

- Не допускається наявність на зовнішніх поверхнях тонкоплівкових нагрівників здуття від повітряних включень розміром, що перевищують 6 мм, і сумарною площею, що перевищує 5% від загальної площі поверхні нагрівника;
- Конструкція нагрівника для ОМБ ССІЧ повинна забезпечувати магнітну компенсацію струмової складової;
- Розміри нагрівника повинні бути мінімально допустимі.

Вимоги до стійкості до зовнішніх впливів. При роботі в умовах перевантаження по напрузі тонкоплівкові нагрівники не повинні мати пошкоджень і деформацій, які могли б викликати порушення електричної ізоляції і ослаблення контактів і з'єднань.

Механічна міцність. Нагрівники повинні зберігати працездатність і нормально функціонувати після впливу на них лінійних перевантажень, вібраційних і акустичних навантажень.

2.5 Параметри та експлуатаційні характеристики нагрівника

У супутниках ДЗЗ параметри нагрівника залежать від параметрів самого супутника та оптико-механічного блоку. Оптико-механічний блок (ОМБ) - це система лінз призначена для фокусування випромінювання на поверхню оброблюваної ділянки. Забезпечення сталості температури в ОМБ дозволяє фокусувати випромінювання без механічного зсуву лінз, що мінімізує розміри супутника [15].

На основі масогабаритних параметрів були сформовані конструктивно - технічні вимоги до нагрівника і зведені в табл. 2.1 [16].

Провівши акустичні і вібраційні дослідження над сканером були визначені основні вимоги до нагрівника і зведені в табл. 2.2-2.3 [16].

Таблиця 2.1

Конструктивно-технічні вимоги до тонкоплівкових нагрівників ОМБ

Найменування параметра і розміру	Значення
Напруга живлення, В	13,5
Частота, Гц	0
Номінальна споживана потужність, Вт	3
Опір каналу, Ом:	$62 \pm 3,1$
- Основний канал;	
- Резервний канал;	62 ± 3.1
Габаритні розміри, мм:	$1,5 \pm 2$
- Товщина по виводах;	
- Товщина нагрівника;	$0.5 \pm 0,1$
- Ширина	44
Довжина (по дузі)	297
Маса, г	$12,5 \pm 2,5$

Таблиця 2.2

Параметри випадкової вібрації

Діапазон частот, Гц	Спектральна щільність віброприскорення, $g^2/Гц$
20 – 40	0,007
40 – 80	0,007
80 – 160	0,007 – 0,022
160 – 320	0,022 – 0,035
320 – 640	0,035
640 – 1280	0,035 – 0,017
1280 – 2000	0,017 – 0,005
Тривалість, с	35

Таблиця 2.3

Розподіл рівня звукового тиску

Середня геометрична частота октавної смуги, Гц	Рівень звукового тиску, дБ
31,5	125
63	132
125	135
250	134
500	132
1000	129
2000	126
4000	121
8000	115

2.6 Приклади тонкоплівкових нагрівників

На сьогоднішній день тонкоплівкові нагрівники широко використовуються у багатьох галузях промисловості і побуту. В залежності від поставленої задачі вони можуть мати різну конструкцію, топологію нагрівного елемента, матеріал нагрівного елемента.

2.6.1 Тонкоплівкові нагрівники на основі оксиду індій-олова.

На рис. 2.6 представлена конструкція даного нагрівника. Тонка плівка оксиду індій-олова нанесена на поліесетрову підкладку. Переважно, ця плівка прозора і має електричний опір, що забезпечує тепло при живленні.

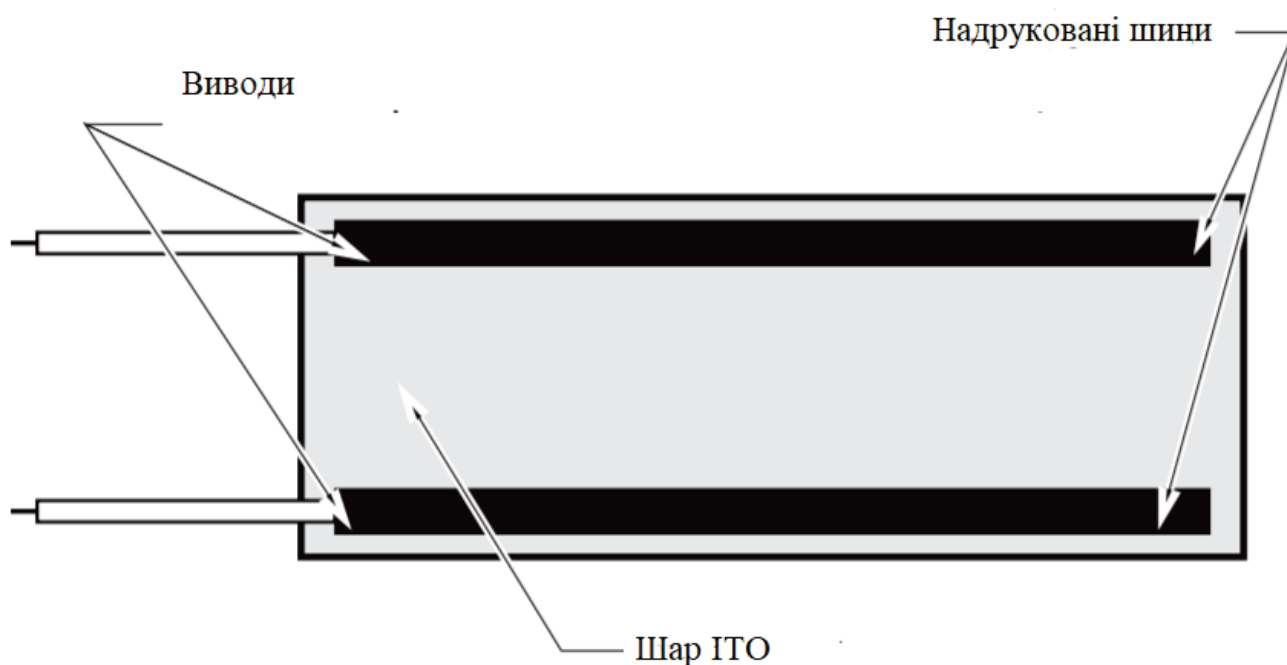


Рисунок. 2.6 – Загальний вигляд нагрівника [17]

Інший варіант тонкоплівкового нагрівника на основі оксиду індій-олова представлений на рисунку 2.7. Він являє собою дротяний нагрівник з малим діаметром нагрівного елемента, як правило приблизно 25мкм, який розташований між двома пластина чистого поліесетру.

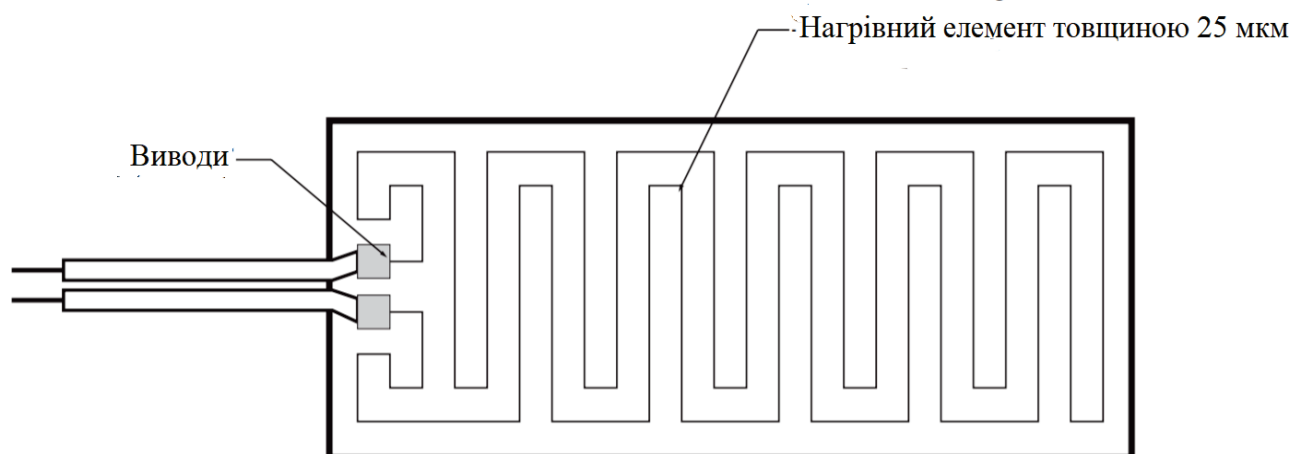


Рисунок. 2.7 – Загальний вигляд дротяного нагрівника [17].

Дротяні нагрівники забезпечують рівномірний тепловий потік вздовж всієї площі обігріву. Оскільки струм протікає шляхом найменшого опору, то густина потужності зменшується в залежності від відстані до джерела живлення (Рис. 2.8). Це пов'язано з падінням напруги на шинах.

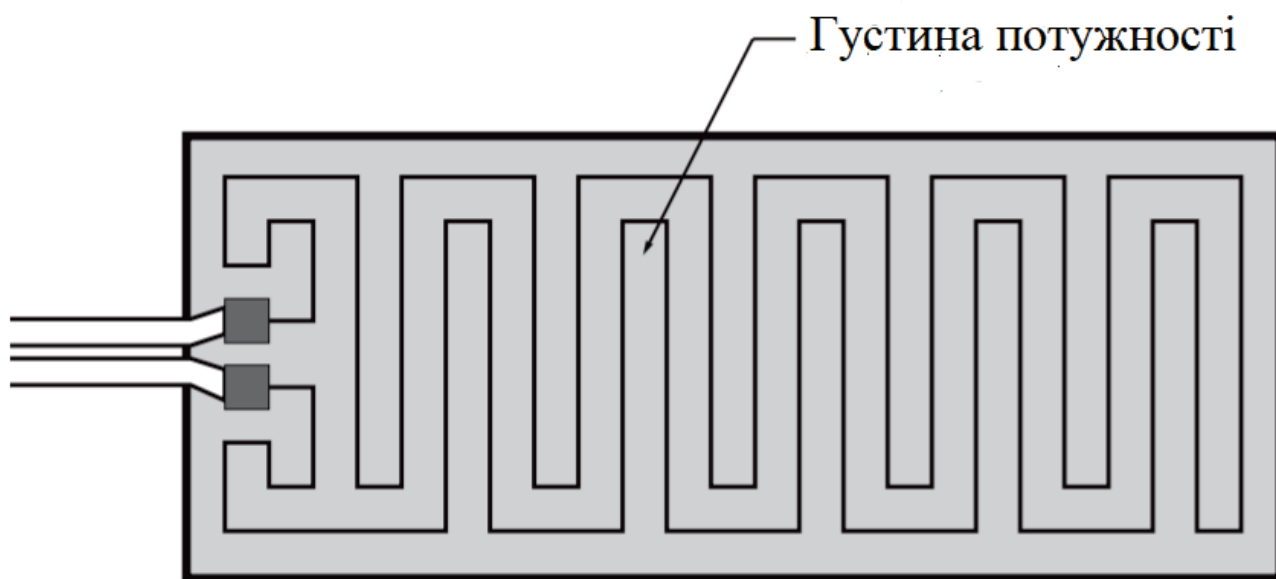


Рисунок 2.8 – Розподіл густини потужності в нагрівнику [17].

Розподіл потужності нагрівника показано на рис. 2.9. Чим ближче до виводів, тим більша потужність. Щоб мінімізувати даний ефект можна зробити виводи на двох кінцях, тим самим зменшити опір на шинах вдвічі (рис. 2.10).



Рисунок 2.9 – Розподіл потужності нагрівника. [17].

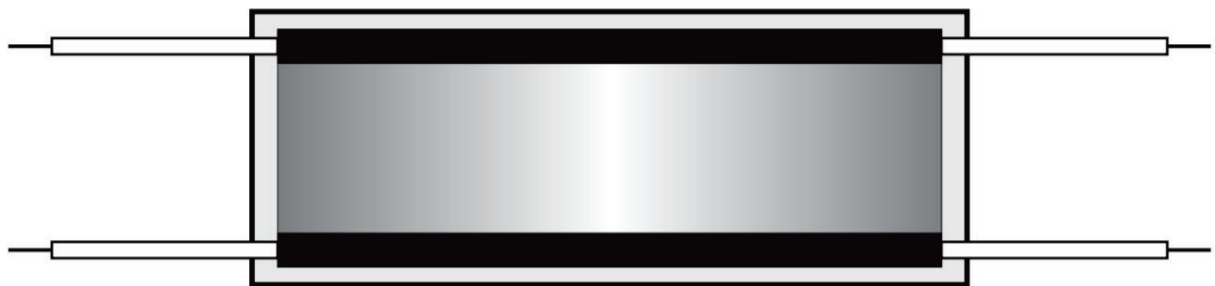


Рисунок 2.10 – Дротяний нагрівник з чотирма виводами [17].

Недоліками даних нагрівників є низька стабільність та мала тривалість роботи. Це може бути пов'язано з нерівномірністю нагріву і стрибками потужності.

Також до недоліків даних нагрівників можна віднести високу вартість оксиду індій-олова і складність у напиленні оксиду.

Тонкоплівкові нагрівники на основі оксиду індій-олова переважно використовуються для нагріву LCD дисплеїв [17].

2.6.2. Тонкоплівкові нагрівники на основі NiCr.

На рис. 2.10 представлена конструкція даного нагрівника. В якості нагрівного елемента використовується сплав NiCr. Через те, що ніхром має поганий електричний контакт, то для його покращення, на нього напилюють шар золота.

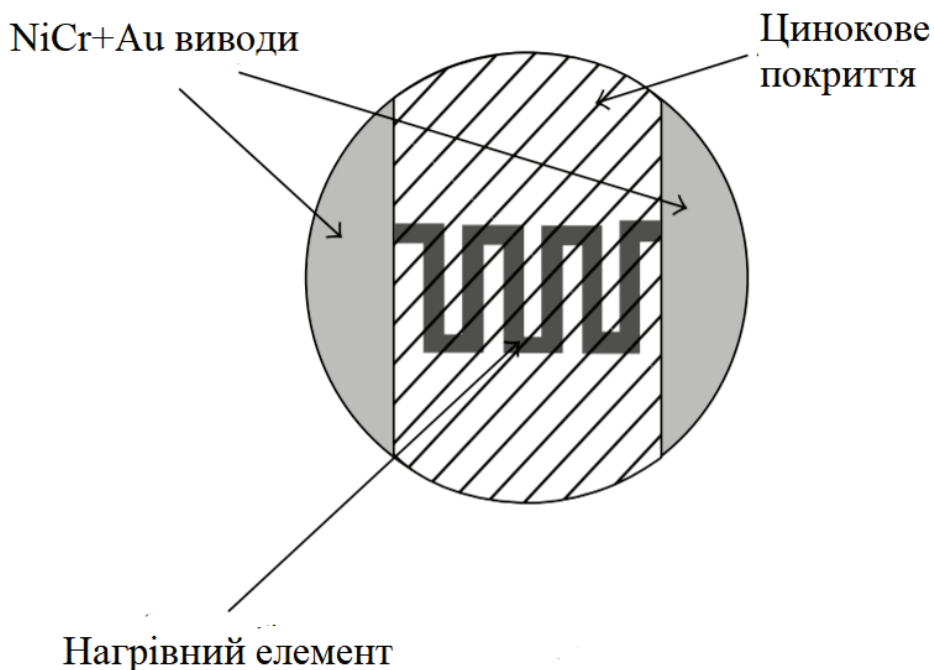


Рисунок 2.10 – Структура тонкоплівкового нагрівника на основі NiCr [17].

Нагрівний елемент наноситься на кругову скляну підкладку. Нагрівний елемент покриває лише центральну частину скляної підкладки. Контакти із золота по краям підкладки. Шар цинку наноситься на поверхню ніхромового нагрівного елемента таким чином, що він покриває всю підкладку за виключенням контактів із золота. Товщина кожного шару залежить від необхідності оптичної передачі даних, а також від впливу радіації на нагрівник. Тому має місце конструкція нагрівника представлена на рис. 2.11 [17].

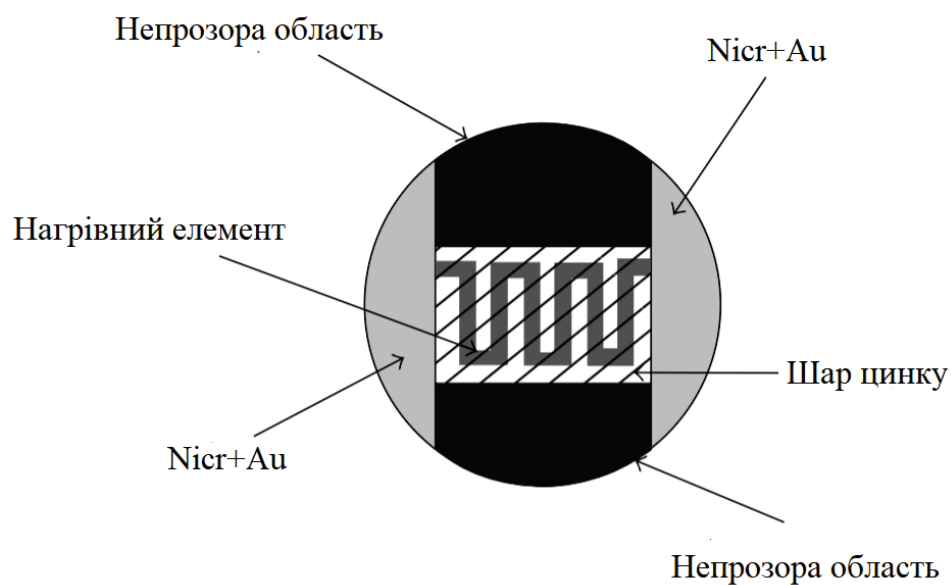


Рисунок 2.11 – Конструкція нагрівника з непрозорою областю [18].

Нагрівники даного типу відрізняються своєю термостабільністю, радіаційною стійкістю та надійністю. Представлені тонкоплівкові нагрівники стійкі до багатьох кислот, вони не деградують при випаровуванні багатьох газів, а також водостійкі.

Основним недоліком нагрівників даного типу є складність у виготовленні [18].

2.6 Висновки до розділу 2

В даному розділі були розглянуті типи нагрівників, їх переваги та недоліки. Були наведені приклади конструкції кожного нагрівника. Також були розглянуті методи контролю нагрівників та матеріали з яких вони уготовляються.

Були представлені приклади тонкоплівкових нагрівників, їх конструкція та застосування. Для кожного нагрівника були показані його переваги та недоліки.

На основі вимог, зазначених в п. 2.3, були визначені основні експлуатаційні та конструктивно-технологічні параметри нагрівника і зведені в таблиці. Також був підібраний матеріал нагрівних елементів.

Виходячи з розглянутих даних, в наступному розділі буде розрахована топологія нагрівника і розглянуті конструкція та технологічний маршрут.

3. РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ НАГРІВНИКА

3.1 Конструкція

На сьогоднішній день дуже важливо зробити супутник якомога меншим за розмірами, тому і його компоненти повинні мати мінімально допустимі розміри. Тому і була обрана технологія тонких плівок.

Більшість тонкоплівкових нагрівників виготовлюються на замовлення, а серед тих нагрівників, що виготовлюються серійно відсутні нагрівники, що відповідають поставленим вимогам. Тому були розроблені конструкція, технологічний маршрут виготовлення і розрахована топологія нагрівних каналів тонкоплівкового нагрівника. Конструкція нагрівника представлена на рис. 3.1.

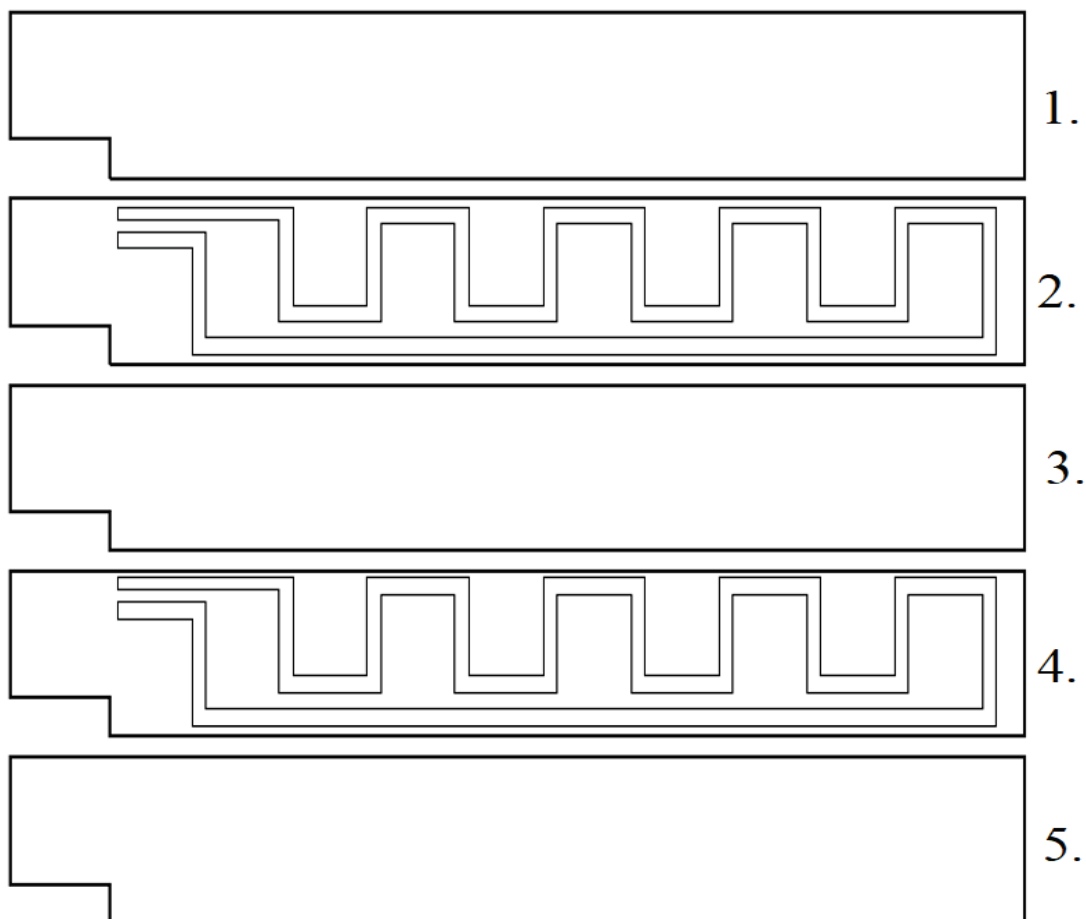


Рисунок 3.1 – Конструкція нагрівника:

1. Поліімідна плівка з одностороннім покриттям алюмінієм, яка виконує функцію підкладки.

2. Робочий нагрівний канал, який являє собою фольговану поліїмідну плівку з нанесеним провідним шаром нікелю з п'ятивідсотковою домішкою ванадію, який виконує функцію нагрівання.
3. Поліїмід, який використовується в якості міжшарового ізолятора між робочим і резервним каналами.
4. Резервний нагрівний канал, який формується на випадок виходу з ладу робочого каналу.
5. Склотканина, що використовується для запобігання механічних пошкоджень нагрівника та його термоізоляції.

3.2 Виготовлення каналів нагрівника.

Для кожного нагрівного каналу була розрахована його топологія. Топологія розраховується методом квадратів. Тонкоплівковий нагрівник являє собою прямокутник з розмірами 297мм×44мм, поверхневим опором ρ 0.5 $\frac{\text{Ом}}{\blacksquare}$ та опором каналу R 62 Ом. Нагрівний елемент повинен займати 50% всієї поверхні. З відомих даних розрахуємо кількість квадратів:

$$N = \frac{R}{\rho}, \quad 3.1$$

де R – опір каналу, ρ – поверхневий опір.

А також площу кожного з них розрахуємо за формулою:

$$S_{\blacksquare} = \frac{a \times b}{N}, \quad 3.2$$

де a, b – сторони нагрівника.

Підставивши числові значення у 3.1, 3.2, отримаємо:

$$N=124,$$

$$S_{\blacksquare}=26.25 \text{ мм}^2.$$

З розрахованих даних та урахуванням компенсації струмової складової була побудована топологія робочого нагрівного каналу. Аналогічно, як і для робочого каналу, розраховується топологія резервного каналу (рис. 3.1).

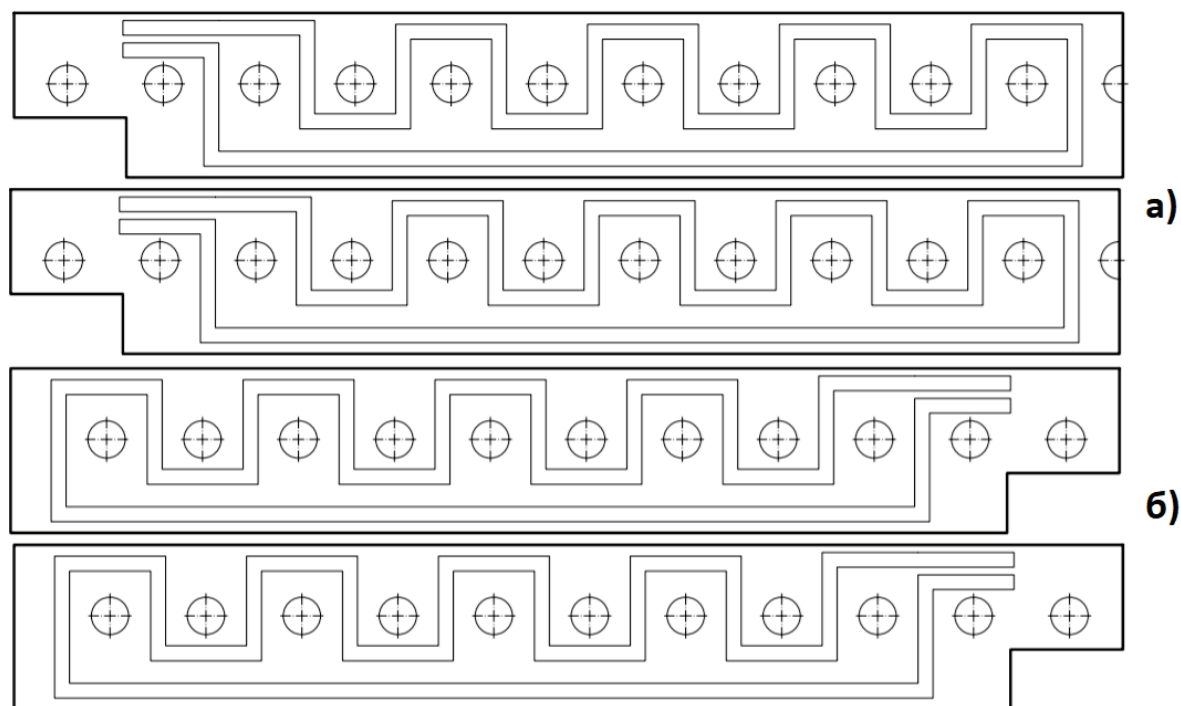


Рисунок 3.2. Ескіз топології а) – робочого нагрівного каналу, б) – резервного нагрівного каналу.

Для створення нагрівного елемента проведено вакуумне нанесення шару нікелю з п'ятивідсотковою домішкою ванадію методом електронно-променевого осадження. При виборі методу був проведений аналіз існуючих методів вакуумного нанесення металевих плівок (табл. 3.1) [19]. Електронно-променевий метод був обраний через те, що тільки установки даного типу дозволяють осаджувати матеріал на поверхні таких розмірів.

Таблиця. 3.1

Порівняльна характеристика методів напилення

Найменування Методу	Умови реалізації методу	Основні види покриттів	Переваги методу	Недоліки методу
Електронно-променеве осадження	Робоче середовище: Вакуум 10^{-4} - 10^{-3} Па. Випаровування металів резистивним нагріванням	Металічні покриття: Al, Cu, Zn, Ag, Cd, Cr, Ni, Co, Si.	Висока швидкість осадження. Можливість отримання товстих покриттів.	Недостатньо щільна структура покриттів. Невисокі механічні властивості

Таблиця 3.1. продовження

Найменування Методу	Умови реалізації методу	Основні види покриттів	Переваги методу	Недоліки методу
Лазерне випаровування	Робоче середовище: Вакуум 10^{-5} - 10^{-3} Па. Випаровування матеріалів різного складу лазерним імпульсом тривалістю від мкс до фс.	Покриття для мікро- електроніки: GaAs, As ₂ S ₃ , SrTiO ₃ , BaTiO ₃ .	Отримання покриттів складних з'єднань. Висока чистота покриттів.	Склад- ність технічної реалізації.
Вакуумно- дугове випаровування	Робоче середовище: Вакуум 10^{-3} - 10^{-2} Па. Випаровування металів в катодній плямі дугового розряду. Осадження покриттів з високим ступенем іонного впливу	Металічні покриття: Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, Ni, Co, Si. Керамічні покриття: TiN, ZrN, CrN, TiC, TiCN, ZrCn, TiAlN, AlCrN. Наноконпо- зити: TiAlN/Si ₃ N ₄ .	Висока швидкість осадження. Відносна простота технічної реалізації. Ефективне іонне очищення виробів перед нанесенням покриттів.	Наявність в структурі покриттів мікро- крапельно металевої фази. Відносно високі темпера- тури осадження покриттів.
Електронно- променеве випаровування	Робоче середовище: Вакуум 10^{-4} - 10^{-3} Па, реактивні гази. Випаровування металів сфокусо- ваним електронним пучком з додатковою іонізацією.	Металічні покриття: Al, Cu, Zn, Ag, Cd, Cr, Ni, Co, Si. Керамічні покриття: TiN, ZrN, CrN, TiC, TiCN, ZrCn, TiAlN, AlCrN.	Висока швидкість осадження. Можли-вість отримання товстих покриттів. Висока чистота покриттів.	Важко забезпечу- вати рівномір- ність товщини і стехіо- метрію на виробах складної конфі- гурації.

Таблиця 3.1. Продовження

Найменування Методу	Умови реалізації методу	Основні види покриттів	Переваги методу	Недоліки методу
Магнетронне випарову- вання	Робоче середовище: Чисті гази N ₂ , CH ₄ . Іонне розпилення металів в магнетрон- ному розряді. Осадження покриттів з різним ступенем іонного впливу.	Повний спектр металічних покриттів: Al, Cu, Zn, Ag, Cd, Cr, Ni, Co, Si та ін. Керамічні покриття: TiN, ZrN, CrN, TiC, TiCN, ZrCn, TiAlN, AlCrN. Нано- композити	Можливість нанесення покриттів на термо- чутливі матеріали при низьких температу- рах. Найбільш широкий спектр покриттів різноманіт- ного призначення.	Відносна складність технічної реалізації при отриманні керамічних покриттів. Відносно висока вартість обладнання.

За розрахованою топологією, на підкладку фотолітографією наноситься рисунок нагрівника з маскуванням фоторезистом для наступного травлення провідного шару нагрівника. Після зняття маскуючого шару та промивки контролюється опір. За необхідності проводиться ретушування для попадання в номінал значень опору. Після цього проводиться залужування контактних площадок, підпайка виводів. Кожному дроту присвоюється бирка з номером, відповідно до електричної принципової схеми (рис.).

Наступним кроком було залужування контактних площадок та підпайка виводів. Виводи - дріт МСІ 6-13, який складається з струмопровідної жили, в яку входять покриті сріблом мідні дроти. Ізоляція являє обмотку з запеченої плівки фторопласта, яка має суцільний колір. Кожному дроту присвоюється бирка з номером, відповідно до електричної принципової схеми (рис. 3.2).

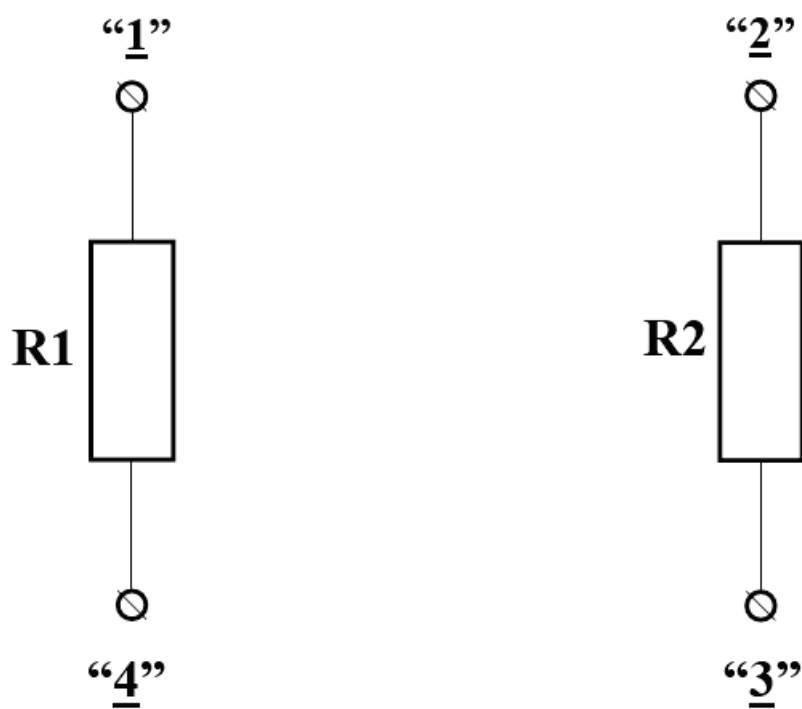


Рисунок 3.3 - Схема електрична принципова тонкоплівкового нагрівника:

R1 - робочий канал,

R2 - резервний канал.

3.3 Монтаж

Монтаж проводився на спеціальній формі (стапелі), що повторює форму ОМБ. Це необхідно для зменшення напружень при монтажі нагрівників на ОМБ. У формі передбачені спеціальні канали для підключення вакуумного насоса для формування вакуумного мішку.

Між кожним шаром нагрівника наноситься герметик ВІКСИНТ УФ-7- 2ЇМ для склеювання і ізоляції.

Кожний шар нагрівника перфорується. Це робиться для того, щоб під час вакуумування надлишок герметика не утворював «бульбашки», які призводять до непридатності нагрівника.

Етапи складання нагрівника:

1. Покриття всіх внутрішніх поверхонь підшаром (спеціальний склад для кращої адгезії герметика).
2. Покриття стропеля ПЕ плівкою (для виключення прилипання).
3. Розміщення підкладки.
4. Нанесення герметика.
5. Розміщення першого каналу нагрівника.
6. Нанесення герметика.
7. Розміщення ізоляційної підкладки.
8. Нанесення герметика.
9. Розміщення другого каналу нагрівника.
10. Нанесення герметика.
11. Розміщення склотканини, яка просякає герметиком.
12. Запаковування вакуумного мішка (ПЕ плівка – жорстка прокладка – склотканина – верхній герметизуючий шар з ПЕ).
13. Підключення до вакуумного насоса.
14. Після повної полімеризації – видалення надлишків герметика і підгонка розмірів.

3.4 Принцип дії нагрівника.

Нагрівник працює наступним чином. При підключенні електронагрівника до джерела живлення резистивний елемент нагрівається і випромінює тепло, і нагріває об'єкт. З ростом температури об'єкта нагріву і нагрівника за рахунок високого ТКС матеріалу нагрівника опір нагрівного елемента збільшується та як наслідок зменшується його електрична потужність. За рахунок цього забезпечується плавність нагріву та економія електроенергії. У випадку різкої тепловтрати об'єктом, що нагрівається, температура нагрівника падає, падає опір нагрівального елемента, відповідно збільшується підведена потужність, проходить швидке вирівнювання температури.

Максимальна робоча температура нагрівника визначається матеріалом припою електричних виводів та максимальною робочою температурою діелектричної плівки, що достатньо для більшості загально- та спеціальнотехнічних потреб

Таким чином застосування даного типу нагрівників забезпечує плавність нагріву, виключає коливання температури об'єкта, що нагрівається, забезпечую економію електроенергії..

3.5 Контроль параметрів

Після виготовлення були виміряні масогабаритні параметри нагрівника та опори нагрівних елементів. Прилади, які використовуються для контролю параметрів нагрівника: вакуумний пост УВН-74, мультиметр H890G, ваги лабораторні ВЛ-200, тераомметр Е6-13А, магнітометр Lemі-011В, штангенциркуль та металева лінійка.

Габаритні розміри нагрівника зображені на рисунку 3.4.

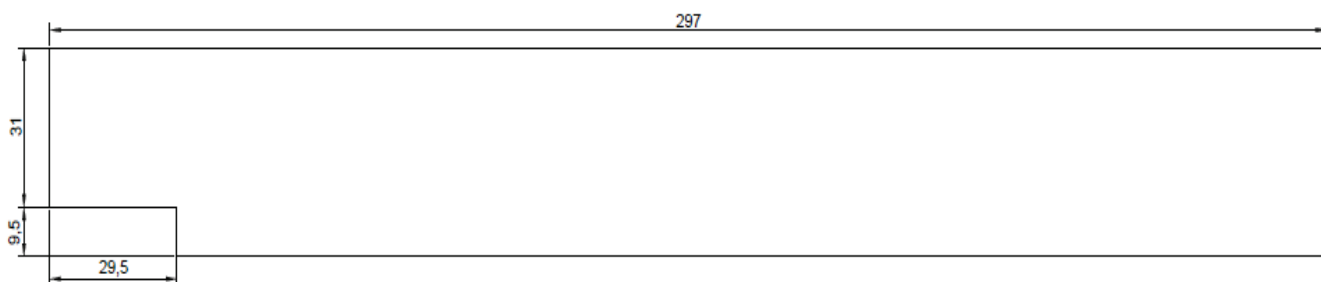


Рис. 3.4 - Габаритні розміри нагрівника.

Після виготовлення нагрівник проходить ряд випробувань, які імітують робочий режим нагрівника, для контролю його основних параметрів. Для цього його розміщують у вакуумну камеру, в якій при тиску 5×10^{-3} мм рт. ст. відбувається витримка нагрівника протягом п'яти годин.

Після вакуумування зовнішній вигляд, маса та опір нагрівних каналів не змінилися.

Були проведені термоциклування зразка для контролю надійності нагрівника, при цьому проводилися вимірювання опору каналів. На основі отриманих даних було проведено залежність опору від температури для двох каналів нагрівника і за цими залежностями розраховано температурний коефіцієнт опору за формулою:

$$TKR = \frac{\Delta R}{R \Delta T}$$

При проведенні періодичних включень при термоциклуванні відмови нагрівника чи зміни параметрів не відбулось.

Для контролю якості ізоляції проводились вимірювання опору ізоляції між робочим нагрівним елементом та підкладкою, між резервним нагрівним елементом та підкладкою та між елементами при критичній напрузі 100 В. Відповідно до ТУ, опір ізоляції не повинен бути нижчим 10 МОм.

Для контролю індукованою магнітною поля при роботі одною каналу проводилось вимірювання магнітного поля при поверхні нагрівника. Робоча напруга була вибрана 17 В, що відповідає допуску напруги при роботі у складі ОМБ.

Результати експериментальних досліджень приведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри тестовою зразка нагрівника

Найменування параметру	Значення
Опір основного нагрівного каналу, Ом	59
Опір резервного нагрівного каналу. Ом	78
Температурний коефіцієнт опору, %/К	0,2
Опір ізоляції (основний канал - підкладка), ГОм	4±4%
Опір ізоляції (резервний канал - підкладка), ГОм	4±4%
Опір ізоляції (основний канал - резервний канал), ГОм	10±4%
Індуковане магнітне поле при напрузі 17В, нТл	<2000
Маса нагрівника, г	11,428

Використання в якості нагрівного елемента сплаву нікелю та ванадію підвищує термостабільність нагрівника. Даний сплав має високий ТКО ($5.6 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$), що дає можливість автоматичної стабілізації отримання температури поверхні об'єкта нагріву пропорційно прикладеній потужності, а також забезпечує плавність нагріву та економії електроенергії. Завдяки цьому забезпечується відсутність локального та загального теплового контакту з об'єктом нагріву.

У випадку різкої тепловтрати об'єктом, що нагрівається, температура нагрівника падає, падає опір нагрівального елемента, відповідно збільшується підведена потужність, проходить швидке вирівнювання температури.

Основною особливістю автоматичної стабілізації температури є незалежність нагрівника від електронних пристроїв, тобто задана потужність нагрівника буде підтримуватись незалежно від зміни температури навколишнього середовища та падаючого струму через нагрівник, і, отже буде пропорційно змінюватись температура нагрівника.

Виготовлений тестовий зразок був досліджений на наявність автоматичної стабілізації, плавність нагріву при різних умовах температурної експлуатації. Для контролю цих параметрів вимірювались залежність зміни температури нагрівника T_n та струму I , який проходив через нього, від часу t . Також були проведені дослідження тестового зразка при умовах різкої тепловтрати об'єкта нагріву. В даному випадку вимірювалась залежність зміни температури нагрівника T_n та струму I , який проходив через нього, від зміни температури навколишнього середовища.

Щоб забезпечити температурні режими, зразок розміщували в шафу термоциклювання Tabai МініСабзеро, зображено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Шафа термоцилювання Tabai МініСабзеро МС-71.

Вимірювання проводилися в наступних умовах:

1. Напруга живлення $U=14$ В, струм живлення $I=1$ А, температура навколишнього середовища – 294 К. Отримані результати представлені в табл. 3.3 та проілюстровані на рис. 3.6.

Таблиця 3.3

**Результати експериментальних досліджень при струмі 1 А і температурі
294 К**

t, хв	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I, А	0,95	0,92	0,897	0,892	0,886	0,879	0,873	0,87	0,866
Tн, К	295,16	308,58	313,84	316,47	319,63	322,26	324,11	325,42	326,74
t, хв	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I, А	0,863	0,861	0,86	0,858	0,856	0,853	0,853	0,853	0,853
Tн, К	327,26	328,05	328,58	329,37	330,16	330,95	331,21	330,95	330,95
t, хв	19	20	21	22	23	24	25	26	27
I, А	0,853	0,853	0,852	0,852	0,852	0,852	0,851	0,851	0,851
Tн, К	331,21	331,47	331,74	332	332	332	332,26	332,26	332,26

Таблиця 3.3. Продовження

t, хВ	19	20	21	22	23	24	25	26	27
I, А	0,853	0,853	0,852	0,852	0,852	0,852	0,851	0,851	0,851
T _н , К	331,21	331,47	331,74	332	332	332	332,26	332,26	332,26
t, хВ	28	29	30	31	32	33	34	35	36
I, А	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851
T _н , К	332,26	332,26	332,26	332,53	332,53	332,53	332,53	332,53	332,53
t, хВ	37	38	39	40					
I, А	0,85	0,85	0,85	0,85					
T _н , К	333,05	333,05	333,05	333,05					

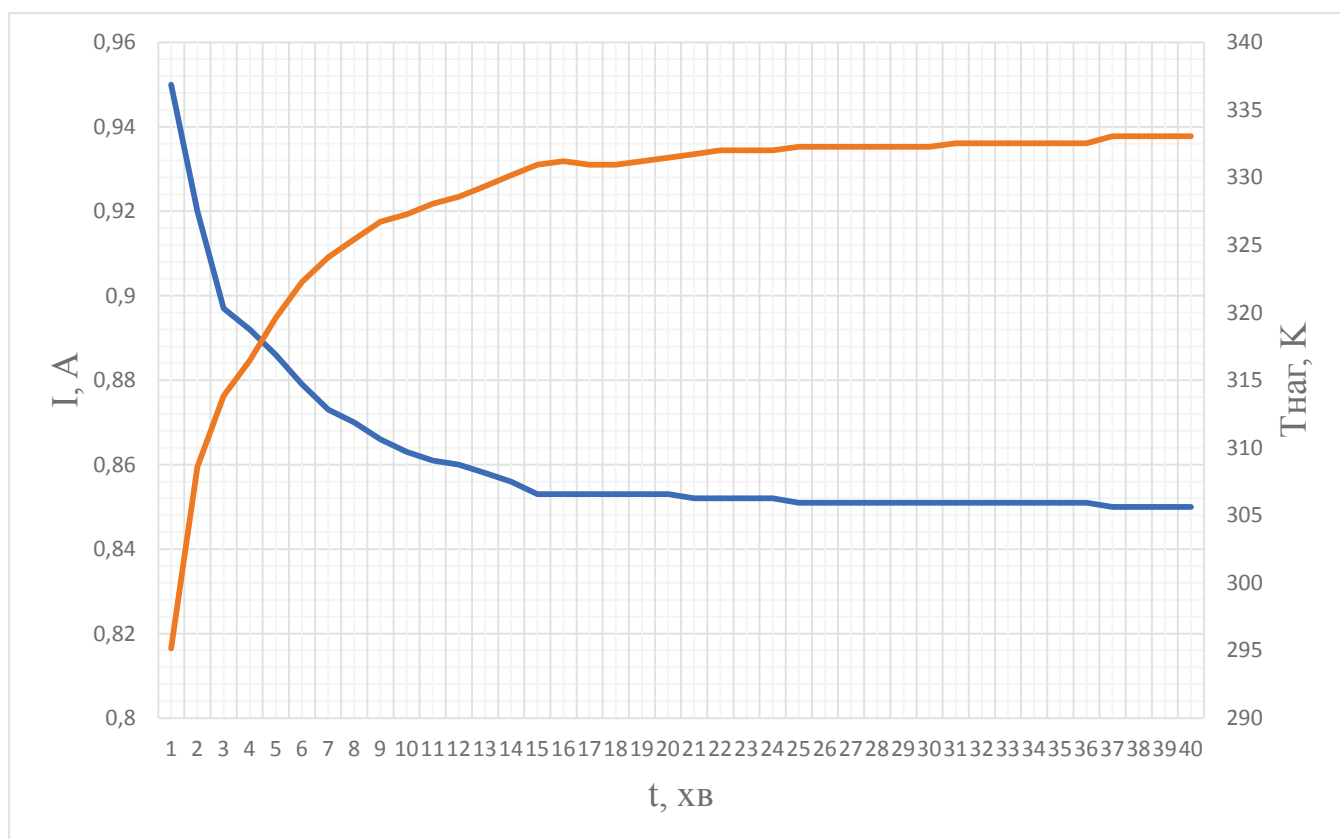


Рисунок 3.6 - Залежність температури нагрівника та струму від часу при струмі I=1 А.

2. Напруга живлення $U = 22$ В, струм живлення $I = 1.5$ А, температура навколишнього середовища – 294 К. Отримані результати представлені в табл. 3.4 та проілюстровані на рис. 3.7.

Таблиця 3.4

Результати експериментальних досліджень при струмі 1.5 А і температурі 294 К

t, хв	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I, А	0,86	1,37	1,57	1,67	1,79	1,89	1,96	2,01	2,06
T _н , К	294,16	300,21	306	312,84	317,32	320,74	324,42	326	327,84
t, хв	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I, А	2,08	2,11	2,13	2,16	2,19	2,22	2,23	2,22	2,22
T _н , К	328,89	329,95	330,74	331,26	332,32	333,11	333,37	334,16	334,16
t, хв	19	20	21	22	23	24	25	26	27
I, А	2,23	2,24	2,25	2,26	2,26	2,26	2,27	2,27	2,27
T _н , К	334,42	334,68	334,95	334,68	334,68	334,68	334,68	334,95	334,95
t, хв	28	29							
I, А	2,27	2,27							
T _н , К	334,95	334,95							

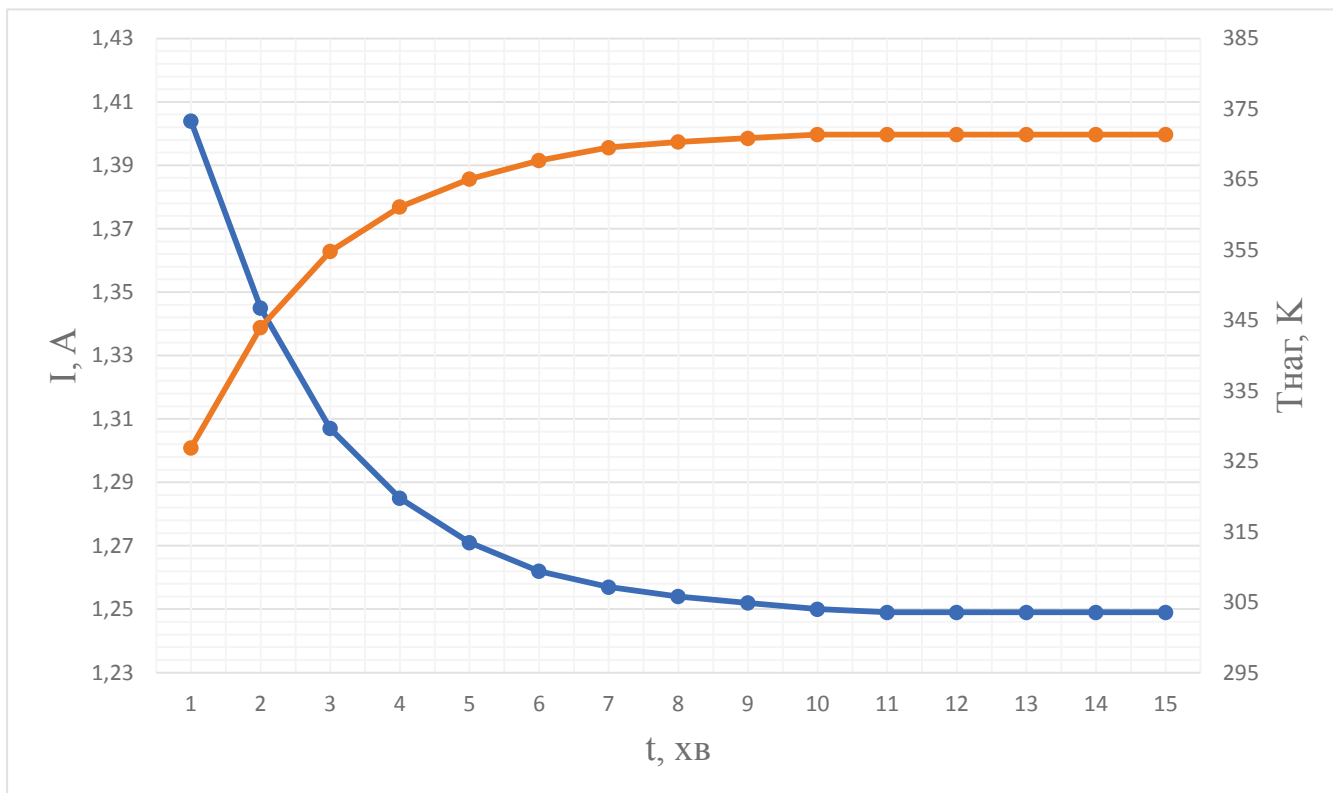


Рисунок 3.8 - Залежність температури нагрівника та струму від часу при струмі $I=1.5$ А і температурою навколишнього середовища 314 К.

4. На даному етапі нагрівник тестувався у випадку різкого охолодження об'єкта нагріву T_0 від 294 К до 244 К при напрузі живлення $U = 22$ В і струм живлення $I = 1.5$ А. Отримані результати представлені в табл. 3.6 та проілюстровані на рис. 3.9.

Таблиця 3.6

Результати експериментальних досліджень при різкому охолодженні

I, А	1,249	1,251	1,26	1,273	1,29	1,309	1,33	1,353	1,373
T _н , К	370,84	369	367,16	363,47	359,26	354,53	350,05	344,79	340,32
T ₀ , К	294	289	284	279	274	269	264	259	254
I, А	1,373	1,394	1,43						
T _н , К	340,32	335,58	328,21						
T ₀ , К	254	249	244						

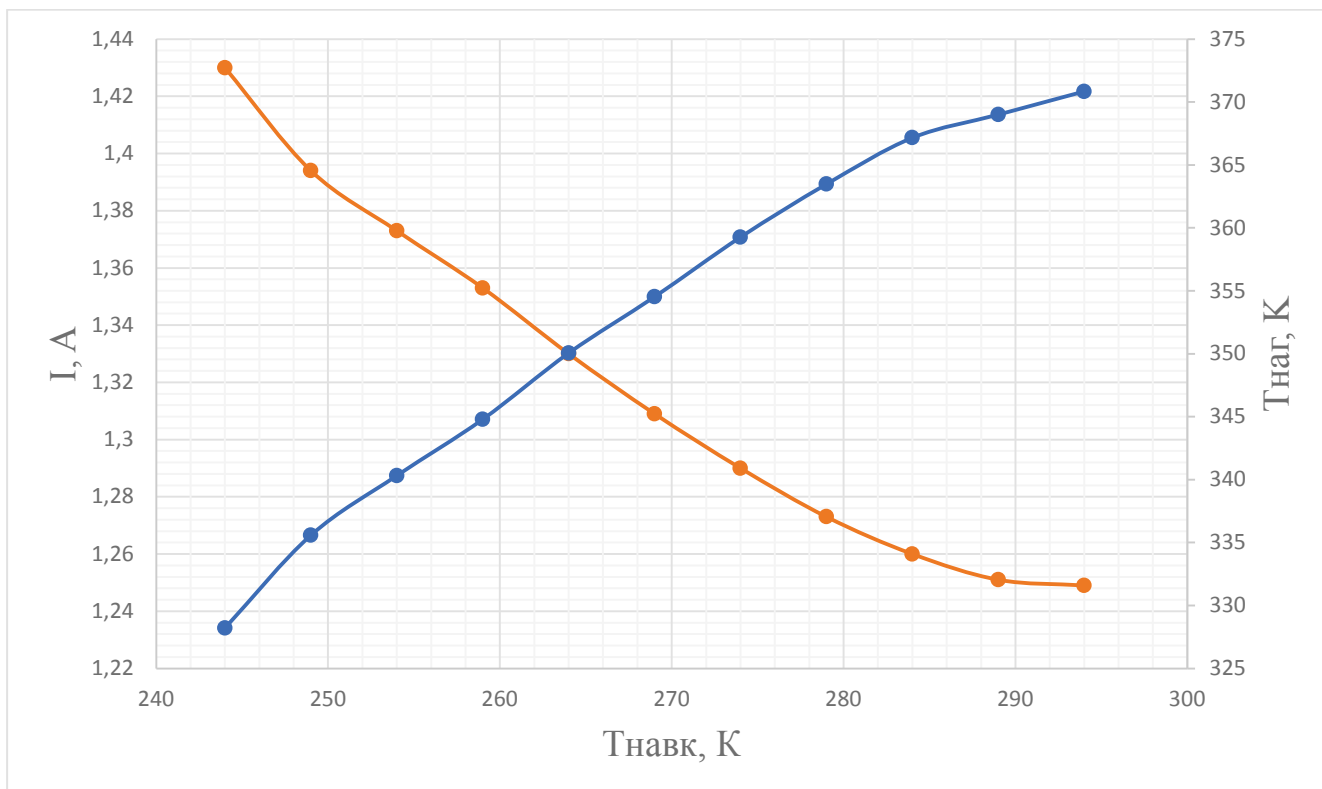


Рисунок 3.9 – Залежність зміни температури нагрівника та струму від зменшення температури навколишнього середовища.

5. На даному етапі нагрівник тестувався у випадку різкого охолодження об'єкта нагріву T_0 від 249 К до 304 К при напрузі живлення $U = 22$ В і струм живлення $I = 2$ А. Отримані результати представлені в табл. 3.7 та проілюстровані на рис. 3.10.

Таблиця 3.7.

Результати експериментальних досліджень при різкому нагріванні

I, A	1,932	1,839	1,805	1,772	1,734	1,697	1,664	1,634	1,605
T _н , К	338,74	352,16	360,05	365,84	376,37	383,47	391,11	398,47	405,32
T _о , К	249	254	259	264	269	274	279	284	289
I, A	1,581	1,555	1,507						
T _н , К	410,32	416,37	427,68						
T _о , К	294	299	304						

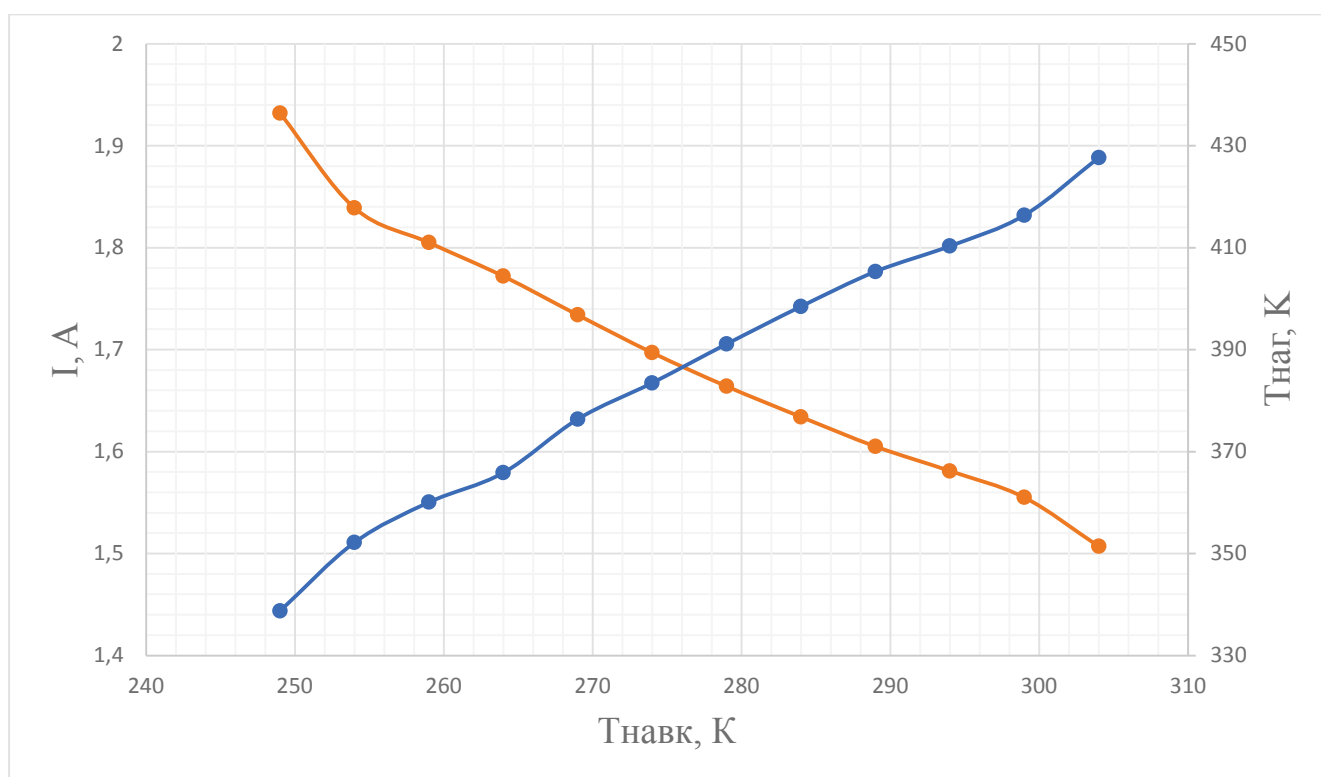


Рисунок 3.10 – Залежність зміни температури нагрівника та струму від збільшення температури навколишнього середовища.

3.6 Висновки до розділу 3

В даному розділі був розглянутий процес виготовлення тонкоплівкового нагрівника. Був виготовлений тестовий зразок нагрівника. Спочатку була представлена його загальна конструкція. Наступний етап - розрахунок топології нагрівних каналів. Проаналізувавши існуючі методи нанесення металевих плівок та обравши найбільш раціональний, були виготовленні нагрівні канали (робочий та резервний) нагрівника. І останній етап - це монтаж.

Виготовлений зразок пройшов низку випробувань для контролю його параметрів. Усі параметри, окрім опору резервного каналу, відповідали нормам ТУ.

Відхилення опору резервного каналу пов'язане з нерівномірністю товщини напиленого нагрівного шару на плівці.

Також проводились дослідження зразка на наявність автоматичної стабілізації, плавність нагріву при різних умовах температурної експлуатації. З графіків 3.6–3.8 видно, що нагрівник стабілізує температуру вже через 15 хвилин при різних значеннях струму та температури навколишнього середовища, що вказує на його автоматичну стабілізацію температури. Також на даних графіках можна побачити плавний нагрів у діапазоні від 0 до 10 хвилин, від 0 до 15 та від 0 до 20 хвилин, відповідно.

Термостабільність нагрівника досліджувалась при різкому охолодженні та різкому нагріванні. Як видно на графіках 3.9–3.10 температура нагрівника падає, отже падає опір нагрівального елемента, відповідно збільшується підведена потужність. Також, з даних графіків, можна побачити, що навіть при різкій зміні температури нагрівник автоматично стабілізує температуру, таким чином забезпечуючи економію електроенергії.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1. Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1.

Опис ідеї стартап-проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Використання тонкоплівкового нагрівника для термостабілізації компонентів космічного апарату	Космічна промисловість	Малогабаритний, точний та термостабільний нагрівник
		Простота виготовлення, відносно дешевий, легкий у калібруванні

Таблиця 4.2.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Економічні	225 у.о.	2000 у.о.	1100 у.о.	200 у.о.		+	

Таблиця 4.2. Продовження

	Техніко- економічні характеристи- ки ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
2.	Призначення	Термостабілізація компонентів	Термостабілізація компонентів	Термостабілізація компонентів	Термостабілізація компонентів			+
3.	Надійності	Довговічність – 5 років	Не вказана	Не вказана	Не вказана			+
4.	Технологічні	Тонкоплівковий нагрівник	Тонкоплівковий нагрівник	Тонкоплівковий нагрівник	Тонкоплівковий нагрівник	+		
5.	Ергономічні	-	-	-	-		+	
6.	Органолептичні	-	-	-	-		+	
7.	Естетичні	-	-	-	-		+	
8.	Транспортабельності	Поставляється у вигляді конструкції нагрівника	Поставляється у вигляді конструкції нагрівника	Поставляється у вигляді конструкції нагрівника	Поставляється у вигляді конструкції нагрівника			

Таблиця 4.2. Продовження

9.	Екологічно сті	Екологічн ий	Екологічн ий	Екологічн ий	Екологічн ий			
10.	Безпеки	Безпечно	Безпечно	Безпечно	Безпечно			

Конкурент 1: Тонкоплівковий нагрівник на основі оксиду індій-олова.

Конкурент 2: Тонкоплівковий нагрівник на основі ніхром.

Конкурент 3: Тонкоплівковий нагрівник на основі алюмінію.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту.

п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наяв ність технологій	Досту пність технологій
.	Виготовлення тонкоплівкового нагрівника для термотабілізації компонентів космічного апарату	Виготовлення нагрівного елемента зі сплаву нікелю та ванадію.	Наяв на	Досту пно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Нагрівний елемент зі сплаву нікелю та ванадію.				

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту.

п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	Кількість головних гравців, од	2
	Загальний обсяг продаж, ум.од/рік	10 млн / рік
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Розгортання великого виробництва
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потребує
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	150%

Ринок є привабливим для входження.

Таблиця 4.5.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту.

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Мінімізація масогабаритних параметрів та споживаючої енергії	Компанії і особи, що виробляють нагрівники	-	Термостабільність

Таблиця 4.6.

Фактори загроз.

п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
.	Наявність кваліфікованих кадрів	Продукт потребує інженерних навичок, тому потрібні люди з певною кваліфікацією	Пошук персоналу у науково-дослідних інститутах та організаціях
.	Потреба в ресурсах	Для створення продукту потрібне технічне забезпечення та певні умови для тестування працездатності	Укладання договорів з поставниками ресурсів та оренда приміщень для виготовлення та тестування продукту

Таблиця 4.7.

Фактори можливостей.

п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
.	Конкуренція	Спонукає виробляти нові продукти, спрощувати технологію виробництва	Модернізація товару
.	Попит	Існування стійкого попиту означає, що більшість клієнтів зацікавлені у удосконаленні технології	Модернізація товару

Таблиця 4.8.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції поліполія	На ринку присутня велика кількість компаній	Застосування передових технологій та залучення кваліфікованого персоналу
2. За рівнем конкурентної боротьби міжнародний	Місцезнаходження фірм не обмежується територіально;	Створювати веб-сайт компанії і відділи у різних країнах
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у	Слідкувати за розробками конкурентів

	виробничих затратах, якості, ціні, тощо.	
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращувати якість товару і знижувати його вартість

Таблиця 4.8. Продовження.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Передбачає продаж продукції за більш низькими цінами, ніж конкуренти.	Продавати товар за низькою вартістю.
6. За інтенсивністю - немарочна	Роль торгової марки значна	Реклама товару

Таблиця 4.9.

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постач альники	Клієнт и	Тов ари- замінник и
	MINKO	HINDAWI	Товар продається розробника- ми	Вимог и до якості і довговічно- сті	Зам ін-ників немає

Висновки:	Інтенсивність висока, конкуренти давно на ринку	Інтенсивність низька, конкуренти давно на ринку	Постачальники не диктують умови на ринку	Товар має бути якісним і довговічним	Обмежень немає
-----------	---	---	--	--------------------------------------	----------------

Для забезпечення конкурентної спроможності на ринку при розробці товару необхідні кваліфіковані спеціалісти та сучасне обладнання, що зробить товар якіснішим ніж у конкурентів.

Таблиця 4.10.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
.	Ступінь покращення характеристик нагрівника.	Конкуренти не мають даного фактору, що має досить велике значення для сенсорів
.	Якість розробки з точки зору показників якості та довговічності	Нагрівник має добре стабілізувати температуру, навіть у випадку збоїв джерел живлення, тощо.
.	Наявність наукових ресурсів	Для покращення якості продукції та технологічного шляху потрібні наукові ресурси
.	Економічний (ціна товару)	Ціна не має бути висока, щоб знайти потенційних покупців.

Таблиця 4.11.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту.

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з "ЗМ"						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1.	Ступінь покращення характеристик нагрівника.	20							
2.	Якість розробки з точки зору показників якості та довговічності	16							
3.	Наявність наукових ресурсів	13							
4.	Економічний (ціна товару)	16							

Таблиця 4.13.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
.	Пошук кваліфікованих кадрів, налагодження технології виробництва.	60 %	4 роки
.	Пошук наукових ресурсів, налагодження технології виробництва.	50%	5 роки

Обрано альтернативу № 1.

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 4.14.

Вибір цільових груп потенційних споживачів.

п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
.	Приватні підприємства.	Готові	Високий	Висока	Складна
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №1.					

Таблиця 4.15.

Визначення базової стратегії розвитку.

п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	1	За рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів (укладених контрактів на постачання) і продуктивності, підприємство доб'ється менших витрат	Витрати на виробництво та рекламу товару	Стратегія лідерства на характеристиках і якостях сенсору

Обрано стратегію лідерства на характеристиках.

Таблиця 4.16.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
.	Ні	Так	Так, показники якості	Виклику лідера

Таблиця 4.17.

Визначення стратегії позиціонування.

п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Висока точність визначення координат Сонця	Лідерство на характеристиках	Ступінь покращення характеристик сенсора.	Оптимальне співвідношення ціна/якість

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.18.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
.	Покращення точності сенсора	Збільшення обробки даних	Збільшення точності і якості сенсора

Таблиця 4.19.

Опис трьох рівнів моделі товару.

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Пристрій для термостабілізації компонентів космічного апарату
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Наявність автоматичної термостабілізації 2. Ціна 225 у.о. 3. Мінімальні масогабаритні параметри 4. Довговічність.
	Якість: довговічність 5 рік,
	Пакування: Сенсор з платою електронної обв'язки
	Марка: "SsT corp.»
III. Товар	До продажу: гарантія.

із підкріпленням	Після продажу: доставка.
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент	

Таблиця 4.20.

Визначення меж встановлення ціни.

п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	-	200- 2000 у.о.	40000 у.о. і вище	400 – 600 у.о./м ²

Таблиця 4.21.

Формування системи збуту.

п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глиби на каналу збуту	Оптіма льна система збуту
	Заказ товару на сайті	Встановлення контакту, інформування, поділ, зберігання, сортування	Канал нульового рівня	Виробн ик збуває продукцію покупцям

Таблиця 4.22.

Концепція маркетингових комунікацій.

п\п	
Специфіка поведінки цільових клієнтів	Застосування монокристалічного кремнію, визначення координат Сонця
Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Прямі - канал комунікації, коли інформація передається безпосередньо від інформатора до інформованої особи
Ключові позиції, обрані для позиціонування	Збільшення точності та радіаційної стійкості
Завдання рекламного повідомлення	Поширення знань про підприємство і характеристики товару серед можливих клієнтів.
Концепція рекламного звернення	Звернення засноване на відмінностях між рекламованим товаром і тим, що пропонують конкуренти. Звернення ґрунтується на тому чи іншому мотиваційному підході, покликаному впливати на споживчі переваги покупців.

4.6 Висновки

Стабілізація температури всередині будь-якого космічного апарату – важливе завдання у сфері космічної промисловості. Розроблений тонкоплівковий нагрівник дозволить спростити цю задачу і може використовуватись не тільки в приватних супутниках, а і в супутниках, що створені вищими навчальними закладами.

Універсальність та низька вартість нагрівників дозволить швидко залучити інвесторів до виробництва. Ринкова комерціалізація розробленого нагрівника висока через велику кількість конкурентів та присутніх конкурентних параметрів та характеристик сконструйованого пристрою.

ВИСНОВКИ

В даній роботі представлені типи нагрівників, їх застосування та приклади їх конструкції. Були розглянуті методи контролю та основні вимоги для виготовлення нагрівників для сканера КА. Виходячи з вимог до виготовлення, була розроблена конструкція тонкоплівкового нагрівника для сканера КА типу «Січ – 1М».

Для робочого та резервного каналів була розрахована топологія та обрана технологія нанесення нагрівного шару. Після виготовлення та монтажу шарів нагрівника, відбувався контроль параметрів тестового зразка. Виявлено, що опір резервного каналу не відповідає нормам ТУ. Вказані причини та спосіб вирішення цього відхилення.

Також проводились дослідження зразка на наявність автоматичної стабілізації, плавність нагріву при різних умовах температурної експлуатації. З отриманих результатів видно, що нагрівник стабілізує температуру вже через 15 хвилин при різних значеннях струму та температури навколишнього середовища, що вказує на його автоматичну стабілізацію температури.

Термостабільність нагрівника досліджувалась при різкому охолодженні та різкому нагріванні. Отримані результати показали, що підведена потужність залежить від температури його експлуатації.

Виготовлені зразки відповідають технічним вимогам і можуть бути використані для оснащення сканерів космічних апаратів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Космічна зйомка [Електронний ресурс] / Офіційний сайт компанії «Совзонд». – [Режим доступу]: <http://sovzond.ru/products/spatial-data/satelites/>.
2. Космические аппараты/Под общ. ред. К. П. Феоктистова. К71 М.: Воениздат, 1983.-319 с.
3. Полетаев Б.И. Проектирование систем обеспечения теплового режима КА / Полетаев Б.И. – БГТУ, 2008. – 36с.
4. M.N. De Parolis, W. Pinter-Krainer Current and Future Techniques for Spacecraft Thermal Control / M.N. De Parolis, W. Pinter-Krainer // ESA Bulletin – 1996. - № 87. – Pp. 1-4.
5. Isidoro Martinez Spacecraft thermal control design data / Proceeding of Spacecraft Thermal and Environmental Control System Symposium. - Munich, 1978. – Pp. 21-25.
6. Karam, R.D. Satellite Thermal Control for Systems Engineers / Karam, R.D. – Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA, 1998. – 270 p.
7. Thermal Protection System (TPS) and Materials [Електронний ресурс] / NASA official website. – [Режим доступу]: <https://www.nasa.gov/centers/ames/research/humaninspace/humansinspace-thermalprotectionsystem.html>
8. David G. Gilmore Spacecraft Thermal Control Handbook: Volume 1: Fundamental Technologies / David G. Gilmore. – American Institute Of Aeronautics and Astronautics, 2002. 836p.
9. David G. Gilmore Spacecraft Thermal Control Handbook: 2nd ed. / David G. Gilmore. – The Aerospace Corporation Press, 2002. – Pp. 21-67; 709 – 757.
10. Елютин В. П., Павлов Ю.А. Высокотемпературные материалы / Елютин В. П., Павлов Ю.А. – Металлургия, 1972. – 476 с.
11. Samuel J. Rosenberg Nickel and Its Alloys / Samuel J. Rosenberg. – Institute for Materials Research, 1968. – 158p.
12. J.M. Mucha, A. Szytula Magnetic Properties of nickel-vanadium alloys /

J.M. Mucha, A. Szytula // Journal of magnetism and Magnetic Materials. – 1984. - № 42. – Pp. 53-58.

13. Производство изделий из полимерных материалов: Справочник / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. – Санкт-Петербург: Профессия, 2004 г. – 464 с.

14. D.N. Nguyen, J.W. Owen, D.A. Smith, W.J. Lewter A Programmable Heater Control Circuit for Spacecraft / D.N. Nguyen, J.W. Owen, D.A. Smith, W.J. Lewter. – Structures and Dynamics Laboratory and Astrionics Laboratory. 1994. – 58 p.

15. Керівництво по використанню Січ-2 [Електронний ресурс] / Державне космічне агентство України. – [Режим доступу]: <http://nkau.gov.ua/nsau/horizon2020.nsf>

16. Нагреватель тонкопленочный НТП-1: технические условия: ИАЛЦ.681816.000 ТУ / КП «ЦКБ «Арсенал»». 2004 г. 54 с.

17. Comparison of Thin-Film and Wire-Wound Heaters for Transparent Applications [Електронний ресурс] / MINCO official website. – [Режим доступу]: https://www.minco.com/~media/WWW/Resource%20Library/Heaters/Whitepapers/Minco_HTCThinfilm.ashx

18. Abid Karim, Thin Film Heater for Removable Volatile Protecting Coatings / Abid Karim // The Scientific World Journal. – Volume 2013. – Pp. 3-7.

19. Жданов А.В. Методы нанесения вакуумных PVD-покрытий: учебное пособие для студ. / Жданов А.В. – ВлГУ. – 2014 г. – 161 с .