

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІРЕ, ФРЕТ

(повне найменування інституту, назва факультету)

Інформаційні технології електронних засобів

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему «Дослідження методів теплового проектування блоків РЕА»

Виконав: студент VI курсу, групи РТ-513м
спеціальності (спеціалізації)

172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва спеціалізації, спеціальності)

Пилипенко П.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник



Шило Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент



Чорнобородов М.П.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ІРЕ, РЕТ
 Кафедра ІТЕЗ
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
 (код і назва)
 Спеціалізації Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 

"11" 12 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пилипенку Павлу Анатолійовичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) "Дослідження методів теплового проектування блоків РЕА"

керівник проекту (роботи) Шило Г.М. доц. к.т.н.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "7" 11 2018 року № 338

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12.12.2018

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Блоки РЕА, теплові та геометричні характеристики блоків

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Розробка моделей для дослідження теплових режимів блоків природним охолодженням засобами інженерного аналізу; 2. Розробка моделей для дослідження теплових режимів блоків з примусовим повітряним охолодженням засобами інженерного аналізу; 3. Дослідження масогабаритних і теплових характеристик блоків радіоелектронних апаратів; 4. Економічне обґрунтування розрахунків теплових режимів; 5. Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1: Конструкції блоків радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням.
Лист 2: Геометричні моделі радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням.
Лист 3: Аналіз конструкцій систем примусового повітряного охолодження в блоках радіоелектронних апаратів.
Лист 4: Розробка теплової моделі системи охолодження в системі інженерного аналізу.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Економ. част.	Остапенко В.В.	<i>Ост</i>	<i>Ост</i>
ООП	Коробко О.В.	<i>Кор</i> 14.10.18	<i>Кор</i> 22.11.
НКДП	Алексеев Т.С., ст. вимп. конф. РЕЗ		<i>Ал</i> 17.10

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічних вхідних даних	1 тиждень	
2	Розробка моделей для дослідження теплових режимів блоків природним охолодженням засобами інженерного аналізу	3 тижня	
3	Розробка моделей для дослідження теплових режимів блоків з примусовим повітряним охолодженням засобами інженерного аналізу	3 тижня	
4	Далідження математичних і теплових характеристик блоків радіоелектронних апаратів.	3 тижня	
5.	Економічне обґрунтування теплових режимів блоків РЕЗ	2 тижня	
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.	2 тижня	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу.	2 тижня	

Студент

(підпис)

Пилипенко П.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Шило Г.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 95 с., 33 рис., 5 табл., 20 джерел.

Об'єкт дослідження – радіоелектронні засоби.

Метою наукових досліджень є розробка способів створення теплових моделей з використанням комп'ютерних засобів моделювання і розробка методів оптимізації та алгоритмів проектування систем охолодження теплонавантаженої радіоелектронної апаратури з урахуванням габаритних обмежень.

Метод дослідження – моделювання теплових процесів в електронних апаратах засобами інженерного аналізу, методи оптимізації.

Розроблено моделі для дослідження теплових режимів блоків з природною та вимушеною вентиляцією засобами інженерного аналізу. Показано, що відповідним вибором параметрів конструкції пристроїв можливо значно зменшити їх масу і габарити або температуру. Розроблено моделі теплових характеристик, які містять математичні моделі теплових характеристик та співвідношення для визначення оптимальних параметрів конструкцій радіоелектронних апаратів. Масогабаритні показники зменшуються на 30 – 50 % при забезпеченні вимог до теплового режиму електрорадіоелементів.

Результати досліджень можуть використовуватися при тепловому проектуванні блоків із природним і вимушеним охолодженням.

РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ, ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИРОДНЕ І ПРИМУСОВЕ, ГЕОМЕТРИЧНІ І ТЕПЛОВІ МОДЕЛІ, ТЕПЛОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ, МАСОГАБАРИТНІ І ТЕПЛОВІ ПАРАМЕТРИ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Розробка моделей для дослідження теплових режимів блоків природним охолодженням засобами інженерного аналізу.....	10
1.1 Аналіз конструкцій блоків радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням.....	10
1.2 Розробка геометричних моделей блоків радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням	16
1.3 Розробка сукупних моделей для дослідження теплових режимів в блоках з природним повітряним охолодженням.....	19
2 Розробка моделей для дослідження теплових режимів блоків з примусовим повітряним охолодженням засобами інженерного аналізу..	26
2.1 Аналіз конструкцій систем примусового повітряного охолодження в блоках радіоелектронних апаратів.....	26
2.2 Аналіз способів примусового повітряного охолодження	34
2.3 Розробка теплової моделі системи охолодження в системі інженерного аналізу.....	38
3 Дослідження масогабаритних і теплових характеристик блоків радіоелектронних апаратів	44
3.1 Дослідження масогабаритних показників блоків з природним повітряним охолодженням.....	44
3.2 Теплові характеристики блоків з природним охолодженням.....	50
3.3 Дослідження вентиляційних характеристики блоків з природним охолодженням.....	55
3.4 Теплові характеристики блоків з повітряним примусовим охолодженням.....	58
4 Економічне обґрунтування розрахунків теплових режимів	60
4.1 Планування розрахунків теплових режимів блоків РЕЗ.....	
4.2 Визначення витрат на моделювання моделі.....	66
4.3 Розрахунок економічної ефективності моделі.....	74

5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	75
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	75
5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки.....	76
5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці.....	79
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	84
5.5 Організація і проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.....	85
Висновки.....	90
Перелік посилань.....	94

ВСТУП

Розвиток радіоелектронних систем проводиться в напрямку значного збільшення інформаційних потоків, які передаються між споживачами й в процесі обробки інформації [1, 2]. У зв'язку з цим відбувається ускладнення системотехнічних і схемотехнічних рішень, зростає кількість електрорадіоелементів та їх функціональні можливості, збільшуються енергетичні витрати на функціонування радіоелектронних апаратів. Усі ці особливості утворення сучасних радіоелектронних апаратів призвели до ще жорсткіших вимог на масогабаритні показники апаратів, що визначаються в процесі їх компоновки з урахуванням умов забезпечення теплових режимів усіх електрорадіоелементів [3, 4].

Процес отримання реальних теплових характеристик вимагає фізичного моделювання теплових режимів радіоелектронних апаратів, що спряжено із значними матеріальними витратами та значними термінами експериментальних досліджень. У зв'язку з цим застосовувалися, найчастіше, спрощені методи обчислення теплових режимів, які використовували результати експериментальних досліджень для визначення параметрів руху теплоносія і параметрів теплопередачі [5, 6]. Такі розрахунки супроводжуються значними похибками і не дозволяють виконувати проектування радіоелектронних пристроїв з оптимальними масогабаритними параметрами.

Ситуація в проектуванні радіоелектронних апаратів почала змінюватись з появою комп'ютерних засобів інженерного аналізу [7, 8], що дозволило проводити моделювання фізичних процесів в елементах конструкцій радіоелектронних апаратів. Продуктивність і точність таких систем дозволила використовувати їх не тільки для аналізу теплових режимів, але й для оптимізації конструкцій блоків радіоелектронних апаратів. На цей час подібні дослідження обмежувались тільки герметичними блоками і не торкалися найпо-

ширеніших конструкцій вентилязованих блоків з природнім і примусовим повітряним охолодженням.

Така апаратура має значні теплові навантаження і вимагає використання спеціальних засобів для забезпечення теплових режимів. У зв'язку з цим значно збільшується вартість і терміни процедур теплового проектування, необхідність застосування комп'ютерних програм значно зростає.

Метою роботи є розробка способів створення теплових моделей з використанням комп'ютерних засобів моделювання і розробка методів оптимізації та алгоритмів проектування систем охолодження теплонавантаженої радіоелектронної апаратури з урахуванням габаритних обмежень.

Для досягнення цієї мети необхідно:

- розробити способи створення моделей для дослідження теплових режимів блоків з природним і примусовим охолодженням комп'ютерними засобами інженерного аналізу;
- дослідження масогабаритних, теплових та вентиляційних характеристик блоків радіоелектронних апаратів з природним та примусовим охолодженням;
- розробка моделей для оптимізації систем охолодження радіоелектронних апаратів;
- розробка методів та алгоритмів проектування систем охолодження з урахуванням масогабаритних обмежень.

При створенні теплових моделей необхідно провести аналіз конструкцій блоків з точки зору організації руху теплоносія. Ці особливості необхідно врахувати при створенні геометричних моделей блоків. Враховуються способи тепловідводу з поверхні блока в оточуюче середовище та характер протікання теплових потоків в середині блока.

Дослідження масогабаритних характеристик блоків проводиться з метою визначення можливостей оптимізації маси і об'єму в процесі компоновки блоків. Метою дослідження вентиляційних і теплових характеристик є визначення конструктивних параметрів, які найбільше впливають на теплові

режими блоків. Це дозволить вибрати необхідну кількість моделей для організації процесу оптимізації масогабаритних показників.

Розробка моделей для оптимізації систем охолодження радіоелектронних апаратів може проводитись апроксимацією масогабаритних, вентиляційних і теплових характеристик блоків. Утворені моделі можуть використовуватись для визначення оптимальних співвідношень або межових значень параметрів, що використовуються в процесі оптимізації блока.

Розробка методів оптимізації та алгоритмів проектування систем охолодження з масогабаритними обмеженнями проводиться з урахуванням розроблених моделей масогабаритних, теплових та вентиляційних характеристик. В розроблених алгоритмах використовуються оптимальні співвідношення. Враховуються теплові і конструктивні обмеження.

1 РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ БЛОКІВ З ПРИРОДНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ ЗАСОБАМИ ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ

1.1 Аналіз конструкцій блоків радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням

Для побудови схеми сучасного радіоелектронного пристрою широко застосовують мікросхеми різного типу, напівпровідникові прилади та інші малогабаритні елементи. Значно рідше зустрічаються прилади, що містять електронні лампи, електромеханічні блоки та інші великогабаритні пристрої [13].

При проектуванні приладів, які складаються з великої кількості малогабаритних елементів, широко розповсюдження отримав модульний метод компоновки. Сутність цього методу полягає в тому, що весь прилад ділять на окремі конструктивно закінчені складальні одиниці (модулі). При модульному методі компоновки можливо для зазначених складальних одиниць застосовувати однотипні конструктивні рішення зі стандартизованими і уніфікованими елементами конструкції, що скорочує терміни і вартість проектування і підготовки виробництва апаратури, а також її вартість. Цей метод дозволяє також проводити збірку, регулювання та випробування складальних одиниць паралельно, в результаті чого різко скорочується тривалість виробничого циклу виготовлення апаратури. Застосовуючи блоки однакової конструкції, можна найбільш оптимально використовувати об'єм приладу, що в кінцевому рахунку призводить до скорочення маси і габаритів апаратури.

При компоновці приладів, що складаються з малогабаритних елементів, найбільш широко використовують конструкції з легкозмінними модулями. Вибір варіанту конструкції блоку та компонування модулів у блоці, а також взаємне розташування інших конструктивних зон повинні здійснюватися виходячи з технічних вимог, аналізу основних визначальних чинників, спе-

цифічних для розробки радіоелектронних апаратів (надійність, ремонтпридатність, габаритні розміри, маса, теплові режими, умови експлуатації і т. п.) [14].

В основному конструюються блоки прямокутної форми, за винятком блоків, що встановлюються в спеціальні відсіки. Форма блоку може відхилятися від прямокутної тільки в технічно обґрунтованих випадках, оскільки таке відхилення унеможливорює застосування автоматизованих методів проектування і виключає можливість використання типових технологічних процесів складально-монтажних і регулювальних робіт, а також застосування високопродуктивного технологічного обладнання, що в цілому збільшує собівартість і терміни освоєння апаратури [15].

Найбільш трудомістким в процесі проектування блоків є вибір раціонального варіанту компоновки модулів у блоці, забезпечення мінімальної довжини ланцюгів електричної комутації та нормальних теплових режимів блоків і розробка чи вибір базових несучих конструкцій блока, яка в свою чергу забезпечує дві перші вимоги.

Слід зазначити, що базові несучі конструкції блоків призначаються для розміщення, механічного кріплення, захисту від механічних перевантажень і зовнішніх впливів модулів, а також блоків у шафах, стійках і стелажах. Елементи несучих конструкцій повинні забезпечувати надійне кріплення модулів з електрорадіоелементами та елементами електричної комутації, а також мінімальну масу, максимальне використання однотипних деталей і їх уніфікацію [16].

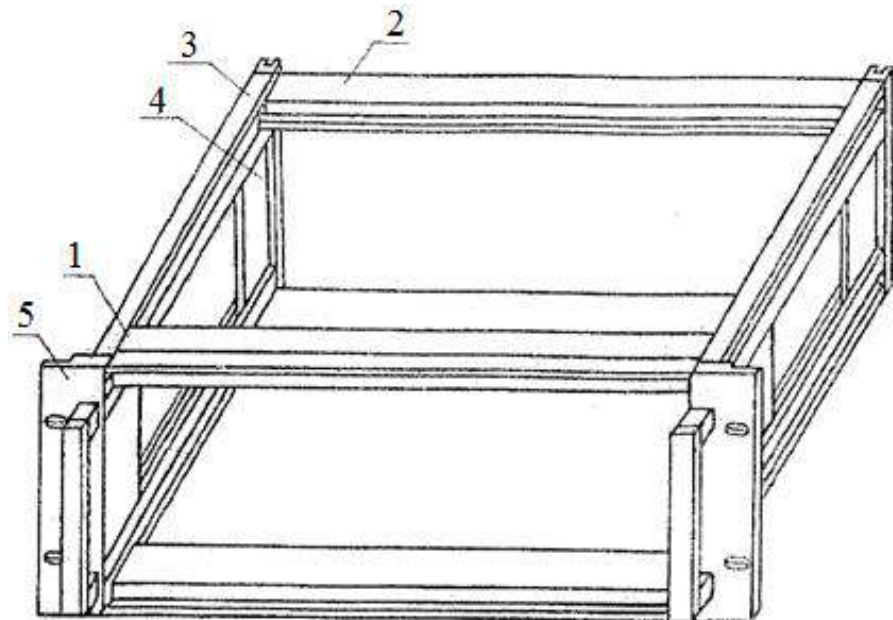
За конструктивно-технологічними ознаками базові несучі конструкції можна поділити на дві групи:

- литі;
- зварні каркасні.

Литі несучі конструкції забезпечують більшу монолітність і жорсткість конструкції. Їх виготовляють головним чином з алюмінієвих і магнієвих сплавів, що мають малу щільність і хороші ливарні властивості. Литі несучі

конструкції широко використовувалися раніше при конструюванні морської апаратури, проте в даний час застосовуються рідко. Пов'язано це, головним чином, з тим, що вартість їх значно вища, ніж вартість зварних: зварні несучі конструкції, забезпечуючи достатню жорсткість і міцність конструкції, мають кращі техніко-економічними показниками [17].

Зварні каркасні несучі конструкції застосовують здебільшого для великогабаритних приладів, які складаються з кількох великих модулів. Каркас зварюють із стандартного алюмінію кутового, квадратного або круглого профілю. Конструкція зварної каркасної несучої конструкції кутового профілю показана на рис. 1.1.

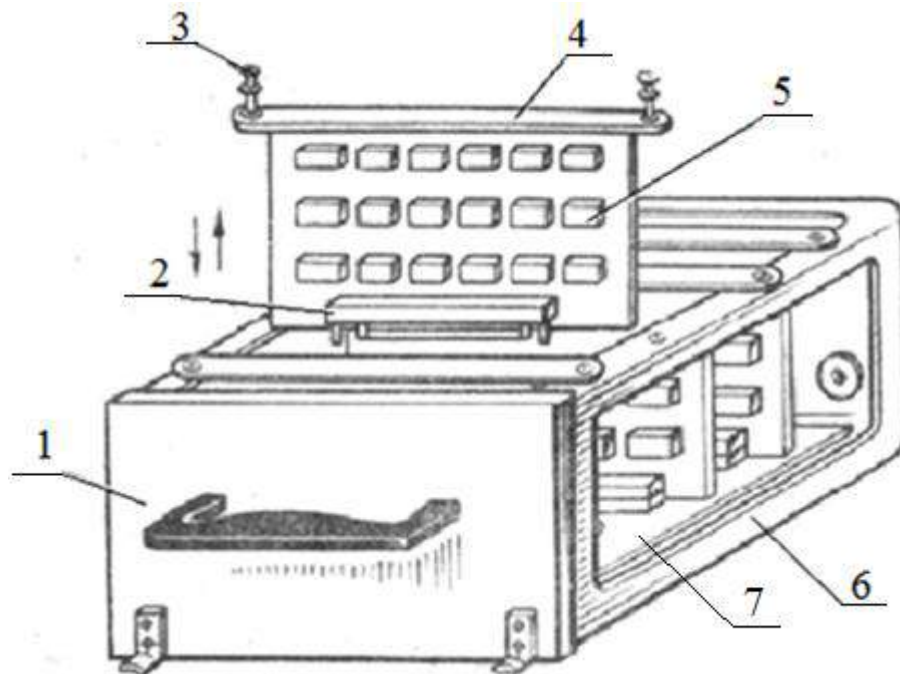


1, 2 – передня та задня горизонтальні рейки; 3 – бокова горизонтальна рейка; 4, 5 – задня та передня вертикальні рейки.

Рисунок 1.1 – Базова несуча конструкція зварного каркасного типу

Несучі конструкції такого типу відрізняються способом монтажу модулів з друкованими платами в блоці. Модулі можуть встановлюватися в блоці в горизонтальному напрямку, якщо комутаційна плата розміщена вертикаль-

но, або у вертикальному напрямку, якщо комутаційна плата розташована в горизонтальній площині. Конструкція блока з вертикальним встановленням модулів показана на рис. 1.2.



1 – передня панель; 2 – врубний роз’єм; 3 – гвинти; 4 – рейка; 5 – електрорадіоелементи; 6 – рама; 7 – комутаційна друкована плата.

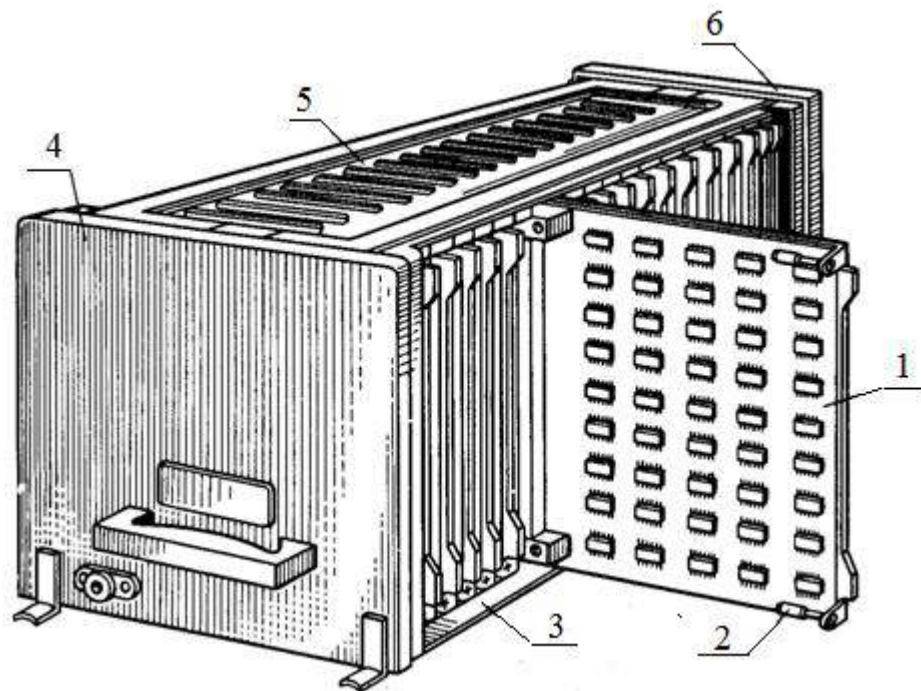
Рисунок 1.2 – Прилад з вертикальним встановленням модулів

Функціональні вузли виготовляються окремими модулями. На одному краю друкованої плати закріплений врубний роз’єм. На краю плати, протилежному роз’єму, розміщують пристрій, який закріплює модуль в приладі. Цей пристрій складається з рейки з отворами, в які встановлені невідповідні гвинти. Ці гвинти входять в різьбові отвори на рамі приладу, завдяки чому забезпечується міцне закріплення модуля. На двох сторонах друкованої плати залишають зону вільну від електрорадіоелементів. При установці модуля в прилад ці зони входять в спеціальні напрямні пази приладу, завдяки чому модуль може переміщатися в приладі тільки в одному напрямку. Щоб елект-

рично з'єднати між собою окремі модулі, в приладі встановлюють врубні роз'єми з гніздами. Контакти цих роз'ємів з'єднують між собою за допомогою комутаційної друкованої плати або джгутом з проводів [19].

Недоліком даної конструкції є неможливість розташування перфорційних отворів на нижній кришці корпусу через те, що комутаційна панель перешкоджає природній конвекції повітря в блоці.

Частіше, для блоків з природним повітряним охолодженням, використовують блоки з горизонтальним встановленням модулів. Конструкція блока показана на рис. 1.3.



1 – модуль з друкованою платою; 2 – невинні гвинти; 3 – рама; 4 – передня панель; 5 – верхня кришка з перфораційними отворами; 6 – задня панель.

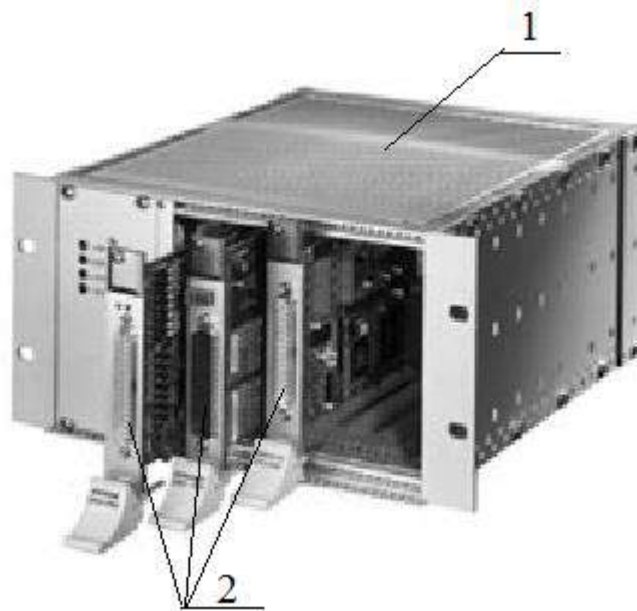
Рисунок 1.3 – Прилад з горизонтальним встановленням модулів

Передню панель кріплять до каркаса корпусу гвинтами. Іноді передню панель закріплюють на корпусі за допомогою петель, забезпечує доступ до

модулів без її зняття, коли вона відкинута на петлях. Модулі забезпечують телескопічними направляючими, які, розсовуючись, підтримують модуль навіть тоді, коли він повністю висунутий з отвору корпусу. Це дає можливість при необхідності робити огляд та ремонт модуля, не виймаючи його з корпусу повністю [15].

Конструкція блока, яка показана на рис. 1.3 дозволяє значно підвищити ефективність охолодження пристрою природною конвекцією за рахунок розміщення перфораційних отворів по всій площі нижньої кришки корпусу.

Поширеними є конструкції блоків, в яких кожен модуль має передню панель. Конструкція блока показана на рис. 1.4.



1 – корпус; 2 – модулі з панелями

Рисунок 1.4 – Прилад з модулями, які мають передню панель

При установці модулів в блок вони формують лицьову панель блока. На панелях розміщені елементи управління та комутації. В таких блоках бічну, верхню і нижню кришки зазвичай приварюють до каркаса; задня кришка може бути знімною (кріпиться на гвинтах) або привареною, залежно від необхідності доступу до приладу в процесі його виготовлення та експлуатації. З

боку передньої стінки каркас розділяє корпус на окремі секції, кожна з яких призначається для установки окремого модуля [20].

Таким чином, базові несучі конструкції радіоелектронних апаратів мають прості форми, які утворюються переважно із простих геометричних фігур: паралелепіпедів, елементів циліндричних, конічних та сферичних поверхонь. При виборі базових несучих конструкцій для блоків радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням перевага надається зварним каркасним конструкціям з алюмінію кутового, квадратного або круглого профілю. Такі конструкції мають відносно невелику вагу та здатні забезпечити достатню надійність закріплення функціональних вузлів та інших елементів конструкції в блоці. Ефективність теплообміну залежить від місця розміщення елементів в об'ємі блока. Так при вертикальному розміщенні елементів конструкції повітряному потоку ніщо не перешкоджає і тепловий режим приладу значно покращується, тому перевага надається саме таким блокам.

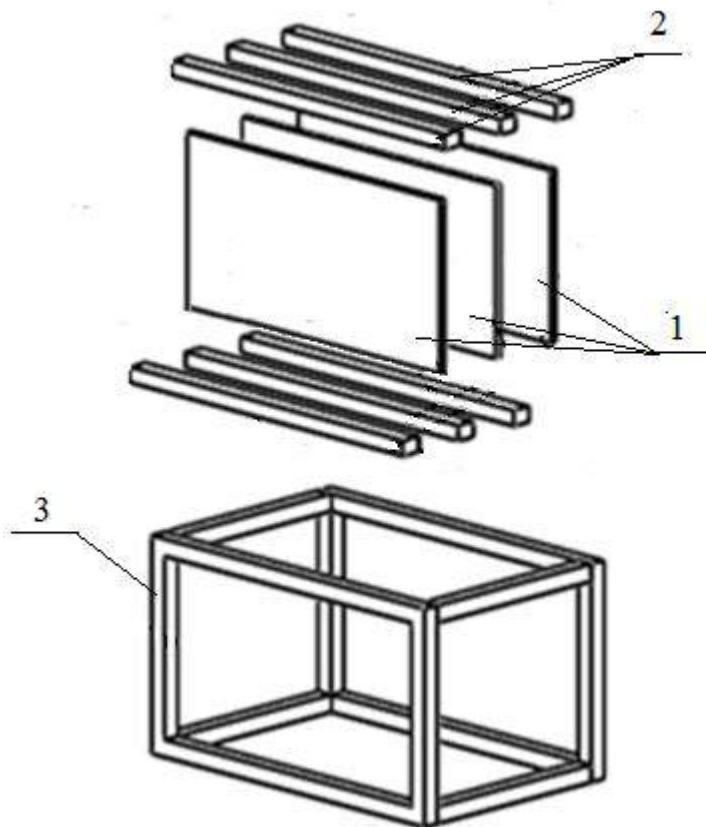
1.2 Розробка геометричних моделей блоків радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням

Представлені на рис.1.1 – рис.1.4 блоки радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням мають велику кількість конструктивних елементів, в тому числі: друковані плати з електрорадіоелементами, елементи кріплення друкованих плат, з'єднувачі, елементи об'ємного монтажу. Розміри цих елементів можуть відрізнятися в сотні і тисячі разів. Забезпечити достатню точність моделювання теплових процесів в таких конструкціях сучасні комп'ютерні засоби не можуть. Тому при моделюванні створюються спрощені геометричні моделі:

- модель несучої конструкції;
- моделі перфораційних отворів.

Геометрична модель блока не враховує масу і габарити електрорадіоелементів, з'єднувачів і елементів об'ємного монтажу та створюється у вигляді збірки, в програмному середовищі SolidWorks. Для проектування було обрано метод «зверху-вниз» тому що він дозволяє створювати посилання на геометрію вихідної моделі, таким чином, якщо змінюється розмір вихідної моделі, пов'язана з нею деталь оновлюється автоматично. Ця можливість дозволила спростити процес моделювання теплових процесів за рахунок зменшення витрат часу на перебудову блока після зміни геометрії її складових частин.

Геометрична модель несучої конструкції блока радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням з прийнятими допущеннями, у вигляді рознесеної збірки, показана на рис. 1.5.



1 – плати, 2 – направляючі, 3 – рама.

Рисунок 1.5 – Рознесена збірка несучої конструкції з природним повітряним охолодженням

Представлена на рис.1.5 конструкція забезпечує надійне кріплення модулів в блоці та безперешкодне обтікання холодним повітрям всіх елементів конструкції.

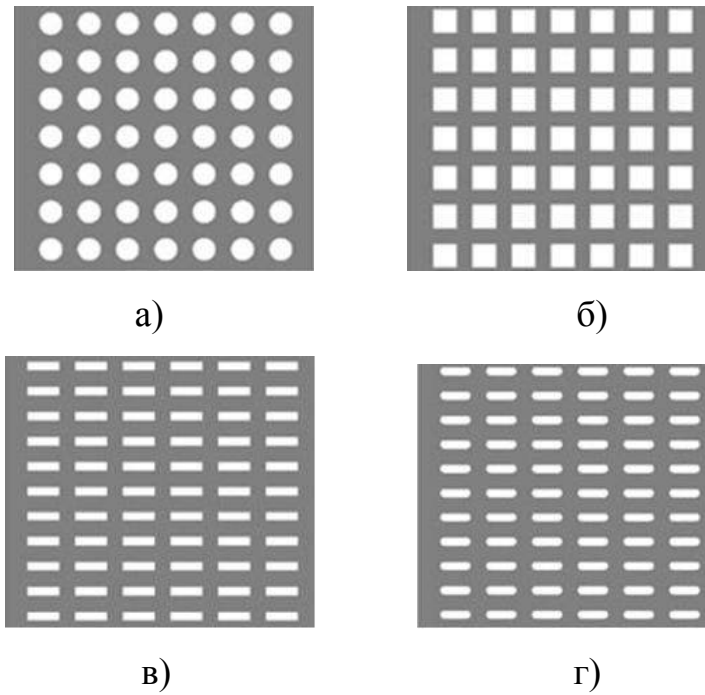
При створенні геометричної моделі перфораційних отворів враховувалось:

- перфораційні отвори можуть бути розташовані на верхній, нижній кришках та бокових стінках блока;
- розміри, форма та кількість отворів обирається за умови забезпечення необхідного коефіцієнта перфорації;
- розміщення отворів залежить від розподілу теплонавантажених елементів в об'ємі: якщо воно рівномірне, то і вентиляційні отвори розміщуються рівномірно на бокових стінках, нижній і верхній кришках блока.

Основні види перфораційних решіток наведені на рис. 1.6. Перфораційні отвори можуть мати різну форму: круглу (рис. 1.6а), квадратну (рис. 1.6б), прямокутну (рис 1.6в) і жалюзі (рис. 1.6г).

Найпоширенішим видом перфорації є круглі отвори. Для невеликих блоків із загальною площею поверхні до 3000 см^2 діаметр перфораційних отворів становить 6 мм, для блоків з поверхнею 6000 см^2 і більше – 12 мм. Коли круглі перфораційні отвори не забезпечують необхідного коефіцієнта перфорації використовують квадратні або прямокутні отвори, при яких збільшується відношення площі отворів до площі перемичок, що сприятливо позначається на ефективності охолодження. Коли товщина стінок блока не забезпечує необхідної жорсткості, замість отворів застосовують жалюзі. Якщо отвори зменшують жорсткість кожуха, то жалюзі збільшують її. Використання жалюзі дещо погіршує теплообмін порівняно з отворами [21, 22].

Таким чином, коефіцієнт перфорації блоку радіоелектронної апаратури в значній мірі залежить від кількості та форми вентиляційних отворів та варіанту їх розташування.



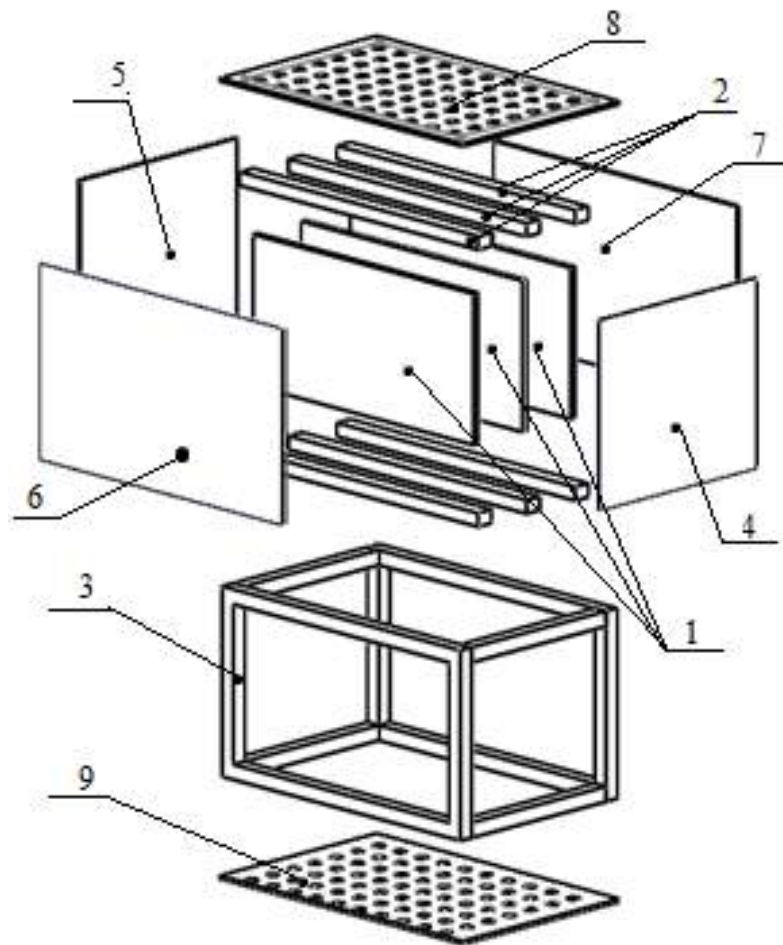
а) круглі отвори; б) квадратні отвори; в) прямокутні отвори; г) жалюзі.

Рисунок 1.6 – Основні види перфораційних решіток

Найменший показник коефіцієнту перфорації спостерігається при прямому розташуванні отворів круглої форми, що пояснюється великою площею зазорів між отворами. Підвищення значення коефіцієнту перфорації можливе вибором перфораційних отворів квадратної або прямокутної форми та розташуванням отворів у зміщеному(шаховому) порядку або вибором форми отворів з можливістю більш щільного розташування.

1.3 Розробка сукупних моделей для дослідження теплових режимів в блоках з природним повітряним охолодженням

Геометрична модель блока, яка включає в себе геометричні моделі несучої конструкції та перфораційних отворів показана на рис. 1.7.



1 – плати, 2 – направляючі, 3 – рама, 4 і 5 – передня і задня стінки корпуса, 6 і 7 – бокові стінки корпуса, 8 і 9 – верхня і нижня кришки корпуса.

Рисунок 1.7 – Рознесена геометрична модель блока з природним повітряним охолодженням

Поширені на даний момент підходи до теплового проектування радіоелектронних систем передбачають вибір способу охолодження та оцінювання теплового режиму електрорадіоелементів на етапі ескізного проектування радіоапаратури. Для цього зазвичай використовується коефіцієнтний метод розрахунку, що базується на статистичній обробці результатів реального проектування. Цей підхід не дозволяє врахувати нові варіанти конструкцій блоків і проводити їх оптимізацію, а оцінка теплових режимів проводиться зі

значними погрішностями, що викликає необхідність проведення експериментальних досліджень на робочих зразках апаратури. Найчастіше це викликає завдання проведення повторної компоновки і завищує масогабаритні показники блоків.

Ситуація змінилася з розвитком систем автоматизованого комп'ютерного проектування і появою програмних засобів інженерного аналізу, що дозволяють проводити математичне моделювання температурних полів у різних пристроях [23].

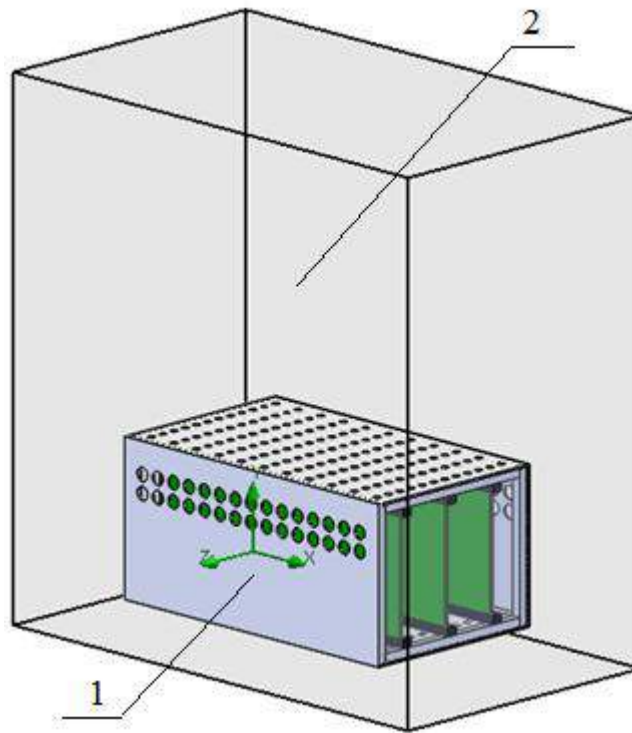
Для дослідження теплових режимів блоків створювалася тепла модель блока радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням. При утворенні теплової моделі використовувалися припущення:

- відвід тепла від блоку в навколишнє середовище відбувається тільки конвекцією і випромінюванням в повітряному просторі;
- розподіл щільності теплового потоку по поверхні друкованих плат задавався однаковим і рівномірним на всіх платах;
- металізація багатошарових друкованих плат враховувалася анізотропією коефіцієнтів теплопровідності в аксіальному і радіальному напрямках, інші матеріали вважалися однорідними і ізотропним;
- друковані плати, розташовувалися в блоці вертикально.

Для проведення моделювання теплових режимів блоків радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням в середовищі SolidWorks використовується модуль Flow Simulation.

Починається моделювання з завдання основних параметрів матеріалів та теплоносіїв для створеної раніше геометричної моделі блока. В меню налаштувань модуля Flow Simulation можливо вказати такі параметри моделі, як: температура навколишнього середовища, коефіцієнт чорноти поверхонь, коефіцієнт теплопровідності матеріалів, потужності, що розсіюються елементами конструкції, та ін. Матеріали елементів конструкції блока задаються з загальної бази даних, яка вбудована в програмному середовищі, або створюються користувачем індивідуально.

Моделювання теплових режимів відбувається в області (домені), розміри якого задаються користувачем. Домен може охоплювати як всю геометричну модель, так і окрему її частину. Домен для розрахунку теплових режимів блоку радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням показаний на рис. 1.8.



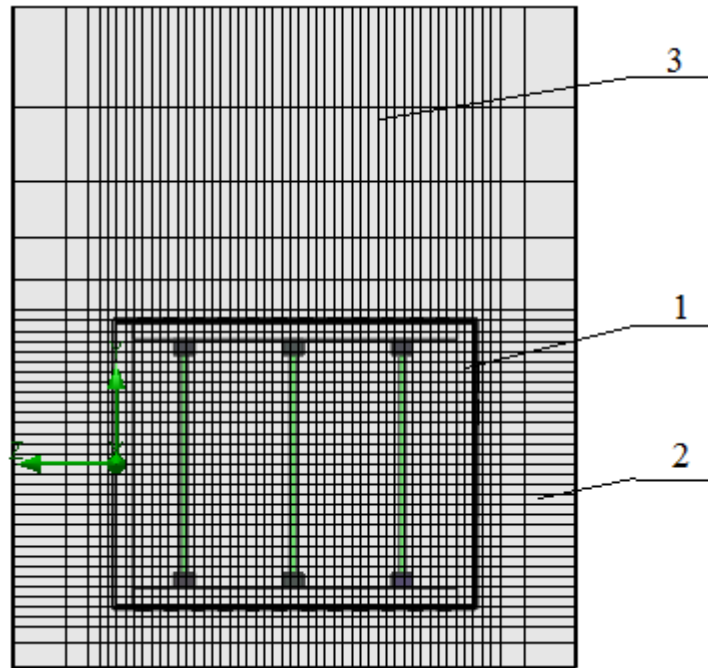
1 – геометрична модель блока; 2 – область моделювання (домен).

Рисунок 1.8 – Домен для розрахунку теплових режимів

Домен має форму паралелепіпеда та витягнутий вгору. Така форма дозволяє врахувати напрямок потоку нагрітого повітря, та виключити з розрахунку область, в якій температура оточуючого середовища не змінюється. Точність моделювання теплових режимів в модулі Flow Simulation визначається параметрами розрахункової сітки. Параметри сітки встановлюються у меню налаштувань Initial Mesh. Існує два варіанти побудови сітки: автоматично, чи в ручному режимі. При автоматичному варіанті побудови розрахункова сітка рівномірно розбиває область моделювання на однакові комірки,

кількість яких залежить від рівня точності, заданого користувачем. Такий підхід використовується для моделей з невеликою кількістю складових частин.

Розрахункова сітка для розрахунку теплових режимів блоку радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням, показана на рис. 1.9. створена в ручному режимі.



1 – геометрична модель блока; 2 – область з щільною сіткою; 3 – область з розрідженою сіткою.

Рисунок 1.9 – Розрахункова сітка

Ручний режим побудови сітки є більш гнучким та дозволяє підвищити щільність комірок сітки в окремих частинах моделі (наприклад, поблизу друкованих плат або електрорадіоелементів), що призводить до підвищення точності розрахунків без значного збільшення затрат часу на моделювання. Для підвищення точності розрахунку розподілу температур по друкованим платам та елементам конструкції блока також застосовано додатковий поділ комірок розрахункової сітки в твердому тілі.

Якщо всі параметри моделювання та сітки задані коректно, можна починати розрахунок теплових режимів. Якщо в моделі присутні помилки, програма попередить користувача перед початком розрахунку. Модуль Flow Simulation дозволяє спостерігати процес розрахунку в режимі реального часу. Приклад відображення перебігу процесу моделювання показано на рис. 1.10.

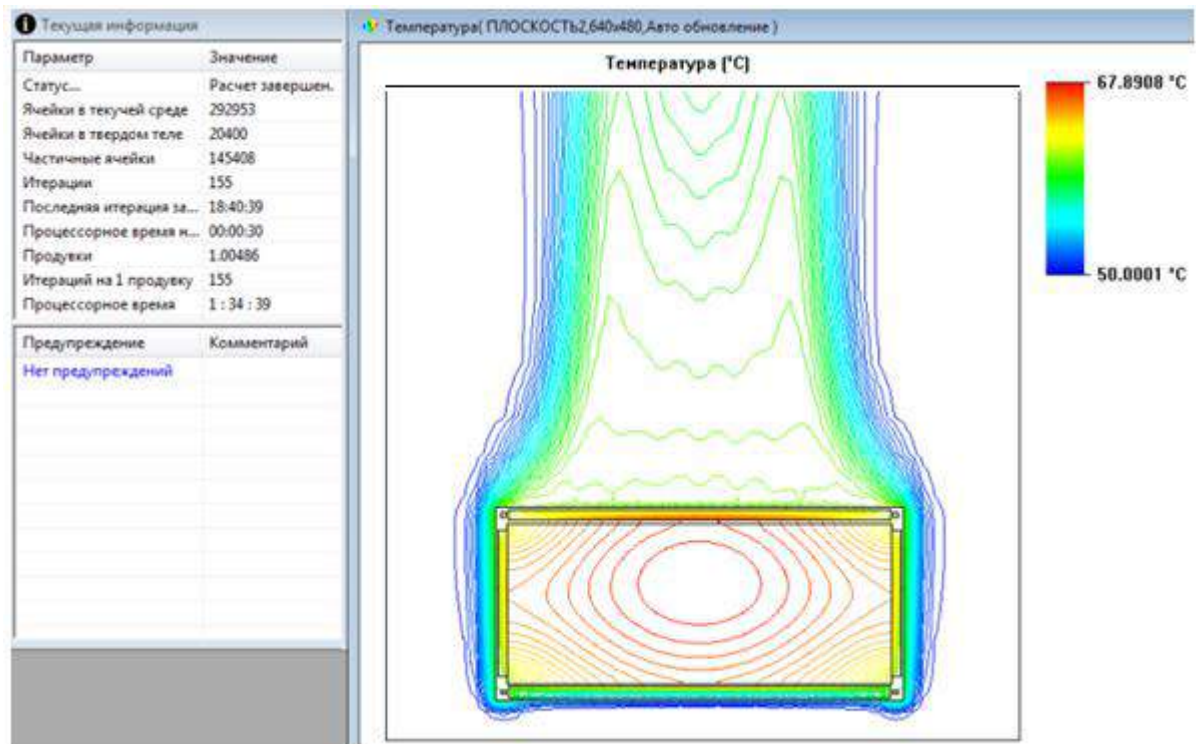


Рисунок 1.10 – Процес моделювання

На рис. 1.10 відображена така інформація:

- максимальна температура в блоці на поточній ітерації;
- розподіл теплових полів відображено ізолініями;
- вказано кількість комірок розрахункової сітки в рідкому середовищі, твердому тілі, та перехідні комірки;
- час ітерації та розрахунку;
- попередження та коментарі про перебіг розрахунку.

По завершенню процесу моделювання стануть доступними інструменти дослідження моделі, які дозволяють отримати необхідну інформацію про

тепловий режим блока, таку, як: розподіл температур в блоці, максимальну та мінімальну температури, температура в будь якій точці різних елементів конструкції, швидкість та напрям теплових потоків та ін..

Таким чином, для проведення дослідження теплових режимів блоків радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням були створені геометричні та теплові моделі цих блоків. Підвищення точності моделювання теплових процесів досягалося створенням домену специфічної форми, яка враховує габарити блока та напрямки потоків нагрітого повітря, а також побудовою розрахункової сітки в ручному режимі. Такі підходи дозволили підвищити точність моделювання в кілька разів без збільшення витрат часу, порівняно з заданими по замовчанню налаштуваннями програми.

2 РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ БЛОКІВ З ПРИМУСОВИМ ПОВІТРЯНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ ЗАСОБАМИ ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ

2.1 Аналіз конструкцій систем примусового повітряного охолодження в блоках радіоелектронних апаратів

Примусове повітряне охолодження є найбільш поширеним способом охолодження. Використання для охолодження атмосферного повітря дозволяє застосовувати цей спосіб охолодження практично в будь-яких експлуатаційних умовах.

Примусове повітряне охолодження дозволяє в десятки і більше разів підвищити тепловантаження в порівнянні з природним. Однак режим примусового повітряного охолодження вимагає застосування в конструкції радіоелектронної апаратури додаткової системи забезпечення теплового режиму, що призводить до збільшення об'єму, маси та енергоспоживання.

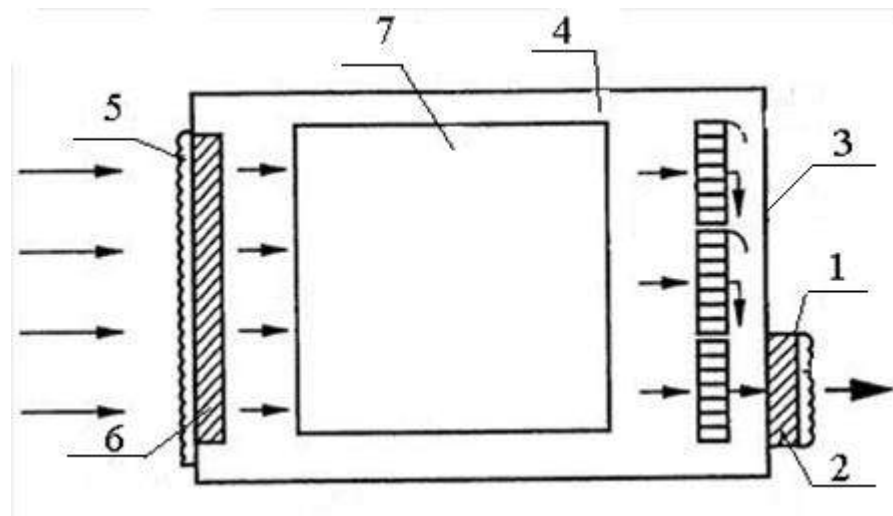
До недоліків примусового повітряного охолодження слід віднести наявність в системі нестатичного елемента – вентилятора. Вентилятор з приводним електродвигуном є основним джерелом шуму і вібрацій перетворювального агрегату, вимагає додаткового догляду та ремонту, знижує надійність агрегату. Системи примусового повітряного охолодження є більш енергоємними в порівнянні з системами природного охолодження, однак досить висока ефективність систем дозволяє застосовувати їх в широкому діапазоні потужностей агрегатів [24].

Розглянемо найбільш поширені прилади, де використовується примусове повітряне охолодження. Одним із видів такої техніки є телекомунікаційні базові станції з повітряним охолодженням.

Система охолодження станції відноситься до охолоджувального пристрою з вентилятором, який застосовується для охолодження електронних

компонентів, зокрема використовується в місцях відкритих для впливу різних погодних умов.

Пристрій використовується у випадку телекомунікаційних базових станцій з повітряним охолодженням, схема якого вказана на рис. 2.1. Пристрій містить захисний закриваючий елемент для отвору впуску повітря в корпусі, в який поміщаються електронні компоненти.



1 – захисний закриваючий елемент; 2 – рамка; 3 – фільтруючий матеріал; 4 – корпус; 5 – отвори впуску повітря; 6 – об'ємний фільтруючий матеріал; 7 – фільтруючий шар.

Рисунок 2.1 – Вентиляційний охолоджувальний пристрій

Захисний закриваючий елемент містить рамку, в яку поміщається складовий фільтруючий матеріал, щоб створити повітронепроникне з'єднання. Складовий фільтруючий матеріал містить мембранний фільтруючий шар з пористою полімерною мембраною, такий як пенополітетрафторетілен, а також щонайменше один шар об'ємного фільтруючого матеріалу, розміщений на стороні впуску мембранного фільтруючого шару [25].

Більш потужним і габаритним агрегатом є рухома наземна двокоординатна радіолокаційна станція кругового огляду метрового діапазону (рис 2.2).

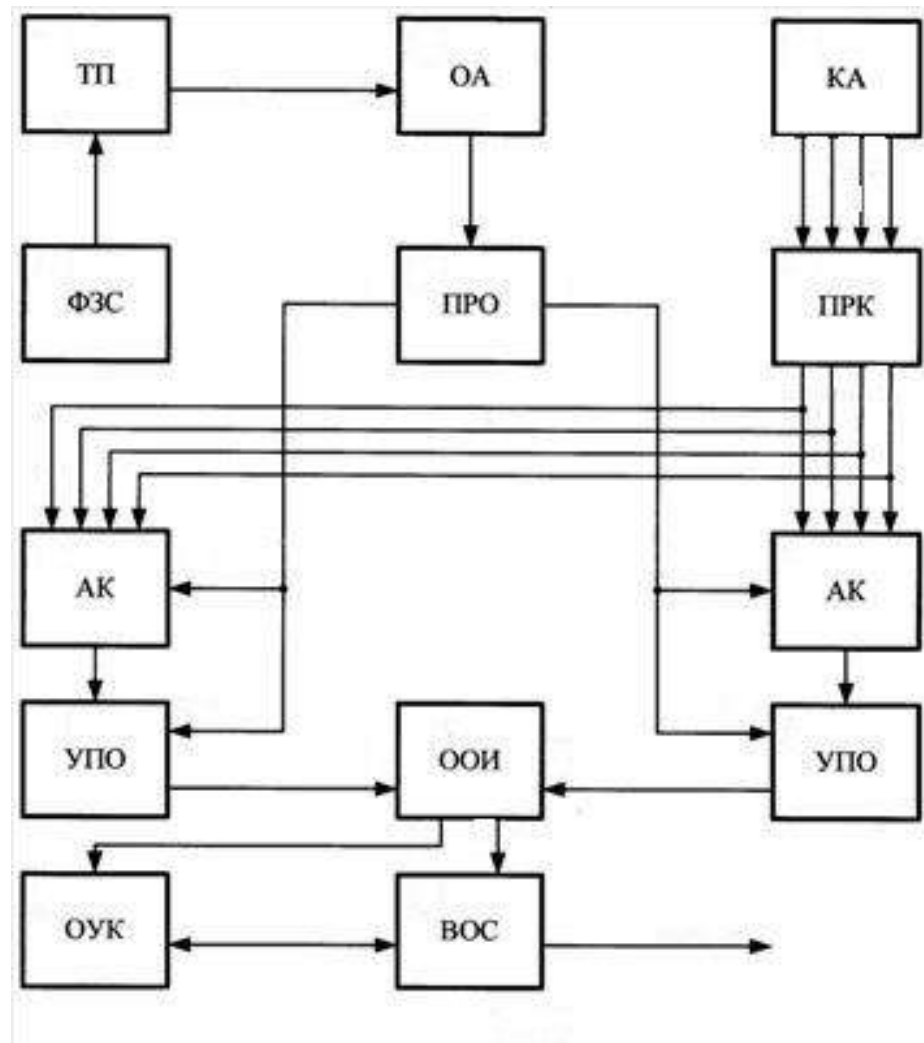


Рисунок 2.2 – Схема рухомої двокоординатної радіолокаційної станції

На рис.2.2 позначено: ОА – основна антена; КА – компенсаційна антена; ФЗС – формувач зондуючих сигналів; ТП – твердотільний передавач; ПРО – приймач основного каналу; ПРК – приймач компенсаційного каналу; АК – компенсатор; УПО – пристрій первинної обробки; ВОС – пристрій вторинної обробки і сполучення; ОУК – пристрій відображення, управління та контролю. Особливістю станції є охолодження апаратної шафи з розміщеною в ньому малопотужною апаратурою разом з твердотільним передавачем, яке

виробляється обладнанням припливно-витяжної вентиляції, оснащеним холодильною установкою.

Існує декілька способів охолодження радіолокаційних станцій, які описані в різних патентах. Відомо технічне рішення, де тепловипромінюючий радіатор (рис 2.3) містить основний корпус і шар металевого покриття, який товщиною не перевищує 5 мкм, виконаного з елементів групи, що містить мідь, нікель, кобальт, хром, цинк, марганець або їх сплави, при цьому теплоємність згаданого шару металевого покриття менше теплоємності основного корпусу. Теплонавантажені елементи розташовані всередині основного корпусу і мають тепловий контакт з внутрішньої сторони корпусу.

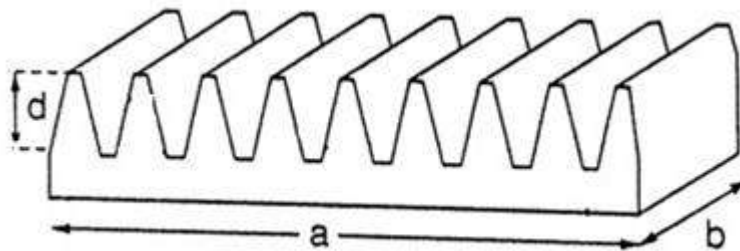
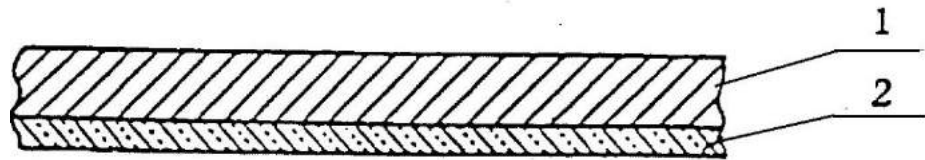


Рисунок 2.3 – Тепловипромінюючий радіатор

Спосіб тепловипромінювання з використанням тепловипромінюючого радіатора передбачає подачу до поверхні радіатора повітряного текучого середовища за допомогою встановленого на ньому вентилятора. Тепловипромінюючий радіатор розглянутий на рис. 2.3, має такі габаритні розміри: a – довжина, b – ширина та d – висота ребра.

Недоліком даного технічного рішення є те, що теплонавантажені елементи виробляють теплопередачу всередині пристрою, порушуючи тепловий режим, що призводить до зменшення ефективності охолодження. Наявність вентилятора і отворів для підведення і відведення повітря погіршує електромагнітне екранування.

Також існує таке рішення, як тепловипромінююча панель. Корпус пристрою у вигляді панелі наведений на рис. 2.4.



1 – металева плита; 2 – формуючий тепловий градієнт шару.

Рисунок 2.4 – Тепловипромінююча панель

Корпус розміщується між високотемпературною і низькотемпературною зонами, складається з металевієї плити та формуючого тепловий градієнт шару, нанесеного на поверхню плити, зверненого до низькотемпературної зони. Шар, який формує тепловий градієнт виконаний з теплопровідного матеріалу, що володіє меншими теплоємністю і здатністю до поглинання теплового випромінювання, ніж у металевій плиті. Теплоємність формуючого тепловий градієнт шару не перевищує 10 % теплоємності металевієї плити, а здатність до поглинання теплового випромінювання не перевищує 60 % аналогічної здатності металевієї плити, що попередить перегрів пристрою, всередині якого відбувається генерування тепла.

Недоліком даного технічного рішення є те, що теплонавантажені елементи виробляють теплопередачу всередині корпусу, порушуючи тепловий режим. Тепловий потік, спрямований зсередини через металеву плиту, призводить до розігріву самої плити, що ще більше погіршує тепловий режим внутрішнього об'єму пристрою і в результаті призводить до зменшення експлуатаційної надійності, ефективність охолодження падає. Формуючий тепловий градієнт шар не забезпечує електромагнітний захист.

Відомо також такий спосіб охолодження, як система для охолодження корпусу з розташованими в ньому тепловиділяючими елементами. Для роботи цієї системи в корпусі виконують вхідний отвір, через який в нього зовні надходить повітря, вихідний отвір, через яке повітря виходить з корпусу назовні, і встановлюють у ньому радіатор з розсіюючим тепло ребром. Радіатор з розсіюючим тепло ребром частково або повністю розміщують всередині корпусу поряд з вхідним отвором і пропускають повітря, що надходить в корпус через вхідний отвір. Спочатку повітря проходить через радіатор з розсіюючим тепло ребром, відбираючи при цьому від нього тепло, що виділяється працюючим, що виділяють тепло елементом, після чого пройшов через радіатор з розсіюючим тепло ребром і нагріте в ньому повітря випускають через вихідний отвір корпусу назовні, охолоджуючи при цьому сам корпус. Для прокачування повітря через корпус використовують вентилятор, який встановлюють поруч з вихідним отвором корпусу.

Даний спосіб охолодження корпусу знижує експлуатаційну надійність за рахунок того, що теплонавантажені та нетеплонавантажені елементи розташовані всередині корпусу. Радіатор з розсіюючим тепло ребром частково або повністю розміщений всередині блоку, що сприяє додатковому нагріванню нетеплонавантажених елементів. Наявність вентилятора, вхідних і вихідних отворів ускладнює конструкцію і зменшує ефективність електромагнітного екранування.

Розглянемо також таких спосіб охолодження та теплового захисту об'єкта. Цей спосіб теплового та механічного захисту об'єкта, що включає його розміщення всередині захисної шаруватої оболонки, що складається з послідовно розташованих шарів:

- зовнішнього ударостійкого шару, виготовленого з жаростійких металів;
- проміжного теплозахисного шару, виконаного з вогнетривкого сухого пористого матеріалу;

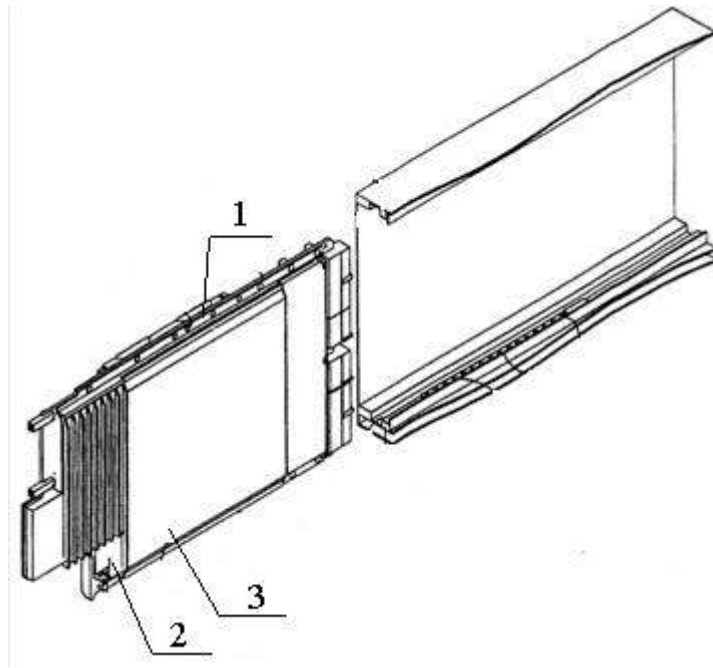
- внутрішнього теплозахисного шару, сформованого з водомісткими матеріалу, укладеного між зовнішньою і внутрішньою тепловідбивними прокладками;
- на зовнішній поверхні зовнішнього ударо-жароміцного шару додатково формують біморфне теплозахисне покриття.

Біморфне теплозахисне покриття виготовляють з теплоізоляційного композиційного матеріалу, що володіє адгезією до поверхні зовнішнього ударо-жароміцного шару і здатністю збільшувати свій об'єм не менше ніж у 10 разів при тепловій дії полум'я на нього. Для цього покривають зовнішню поверхню зовнішнього ударо-жароміцного шару теплоізоляційним композиційним матеріалом в текучому стані і роблять операцію твердіння матеріалу шляхом його нагрівання до температури твердіння. При цьому зовнішній ударо-жароміцний шар перфорують наскрізними дренажними отворами.

Вищевказаний спосіб дозволяє захистити внутрішні елементи від теплового нагріву, але не вирішує задачу охолодження теплонавантажених елементів цього пристрою. Забезпечення теплоізоляції відбувається за рахунок збільшення обсягу зовнішнього шару не менше ніж у 10 разів, що впливає на експлуатаційну надійність як поруч розташованих пристроїв, так і самого пристрою. Наявність перфоруючих наскрізних отворів зменшує ефективність електромагнітного захисту. Також така система охолодження використовується в електронних пристроях, що працюють в суворих умовах.

Примусове повітряне охолодження використовується ще в авіації на борту літальних апаратів малих розмірів і не герметизованих, зокрема вертольотів. В таких приладах не використовують захист від температури навколишнього середовища, гарантоване їх конструкцією або роботою кондиціонера. Кондиціонування навколишнього середовища необхідно для роботи електронного обладнання, наприклад друкованих плат, встановлених на борту літального апарату. Примусове переміщення теплоносія, наприклад повітря, поблизу електронного обладнання забезпечує видалення тепла, що виділяється електронним обладнанням.

На рис. 2.5 показане зображення модульного електронного пристрою. Цей електронний пристрій містить, щонайменше, одну друковану плату з тепло випромінюючими електронними компонентами, радіатор, перша поверхня якого перебуває у контакті з електронними компонентами першої сторони друкованої плати, а друга поверхня призначена для відводу тепла конвекцією.



1 – друкована плата; 2 – радіатор; 3 – кожух.

Рисунок 2.5 – Модульний електронний пристрій

Пристрій характеризується тим, що містить кожух, що обмежує канал, в якому циркулює повітря, що забезпечує конвекцію, причому кожух з'єднаний з радіатором і друкованою платою, при цьому канал не допускає контакту повітря з електронними компонентами.

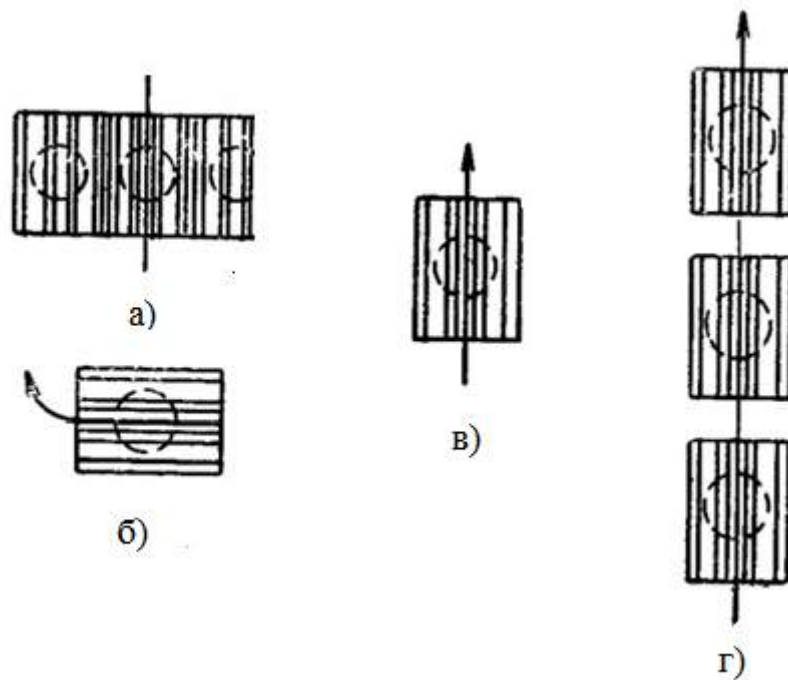
Таким чином, системи примусового повітряного охолодження використовуються в різних за габаритами та умовами експлуатації системах, наприклад, в мережевих шафах, в складних теплонавантажених системах, як фазовані антенні ґрати, підсилювачі надвисоких частот і радіолокаційних станцій.

Примусове повітряне охолодження є найбільш поширеним способом охолодження. Однак режим примусового повітряного охолодження вимагає застосування в конструкції радіоелектронної апаратури додаткової системи забезпечення теплового режиму, що призводить до збільшення об'єму, маси та енергоспоживання.

2.2 Аналіз способів примусового повітряного охолодження

Під примусовим повітряним охолодженням розуміють охолодження потоком повітря, обсяг і швидкість руху якого визначаються спеціальними пристроями. Таким чином, можуть охолоджуватися як безпосередньо частини апаратів, так і який-небудь проміжний теплоносій, наприклад вода, що використовується для відводу тепла від теплонавантажених вузлів і деталей [14].

При природному охолодженні відвід тепла здійснюється за допомогою теплопровідності через шар повітря, дотичний з поверхнею охолоджувача, а також за рахунок променистого теплообміну, для поліпшення якого охолоджувачі слід покривати фарбою. При природному охолодженні внаслідок повільного руху повітря вздовж ребер охолоджувача, коефіцієнт теплообміну не перевищує $10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$, тому таке охолодження доцільно застосовувати при потужності перетворювального пристрою не більше 20 кВт . Потік повітря повинен вільно проходити паралельно площинам ребер охолоджувача знизу вгору (рис. 2.6в). Також існують горизонтальне одиночне (рис. 2.6б) і вертикальне групове (рис. 2.6г) розташування охолоджувачів.



- а) паралельно площинам ребер охолоджувачів знизу вгору;
 б) горизонтальне одиночне; в) паралельно площинам ребер охолоджувача знизу вгору; г) вертикальне групове.

Рисунок 2.6 – Розташування повітряних охолоджувачів

При примусовому повітряному охолодженні холодне повітря продувається через вентиляційний канал вздовж ребер охолоджувачів за допомогою низьконапірних осьових вентиляторів. Відведення тепла в цьому випадку відбувається в основному за рахунок вимушеної конвекції. При швидкості повітря 10 м/сек коефіцієнт теплообміну становить приблизно $150 \text{ В/м}^2 \cdot \text{град}$. Напрямок потоку повітря має бути паралельно площинам ребер охолоджувачів, подачу повітря слід направляти знизу вгору (рис. 2.6а).

Загальне примусове повітряне охолодження доцільно для пристроїв, в яких велика частина елементів конструкції має приблизно однакове теплове навантаження.

За способом подачі повітря системи загальної вентиляції можна розділити на припливно-витяжну, припливну і витяжну. У разі припливно-витяжної системи охолодження потрібно мінімум два вентилятора (витяжний

та нагнітаючий), що знижує надійність системи охолодження. У припливних системах повітря, попередньо очищене в фільтрі, подається вентилятором в блок. При цьому всередині блоку створюється надлишковий тиск, який перешкоджає проникненню неочищеного повітря всередину блоку. Припливні вентиляційні системи дозволяють створити хороший повітряний натиск, але уникнути аеродинамічних тіней і застійних зон не у всіх випадках вдається.

У витяжних системах нагріте повітря засмоктується вентилятором з блоку і викидається назовні. Тут вентилятор працює в менш сприятливих умовах, так як через нього проходить нагріте повітря. Витяжна вентиляційна система дає можливість значно поліпшити рівномірність обтікання повітрям всіх елементів конструкції. Однак для створення необхідної продуктивності такої конструкції передбачають більш потужні (на 30 – 40 %) вентилятори для покриття втрат від нещільностей кожуха [14].

Ефективність примусового повітряного охолодження залежить від кута, під яким до ребер радіатора подається охолоджуюче повітря (кут атаки), а також від аеродинамічних властивостей конструкції радіатора.

Існує три режими руху повітря, що залежать від аеродинамічних умов обтікання даного тіла: ламінарний, турбулентний і перехідний, які характеризуються критерієм Рейнольдса:

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad (2.1)$$

де Re – критерій Рейнольдса;

v – середня швидкість потоку, м/с;

l – лінійний параметр, характерний для перетину, м;

ν – кінематична в'язкість середи, м²/с.

Примусове повітряне охолодження апаратів безперервно надходять повітрям можна здійснювати двома шляхами:

- обдувом зовнішньої поверхні корпусу апарату;
- наскрізним продувом повітря через внутрішній об'єм апарата.

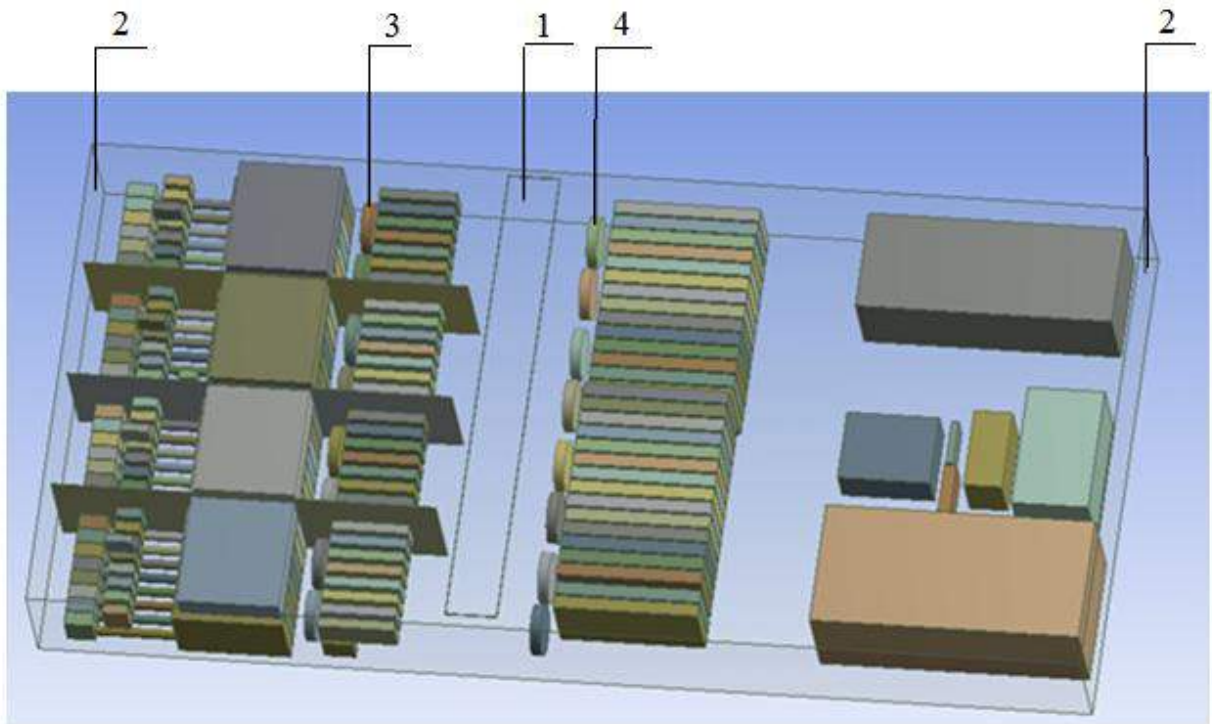
У першому випадку потік повітря відводить тепло тільки від поверхні корпусу апарату і для того, щоб тепло від внутрішніх частин апарату краще передавалося корпусу, потрібно не тільки забезпечити їх хороші термічні контакти з корпусом, а й вести перемішування внутрішнього об'єму повітря. Отже, необхідні два примусових потоку повітря, а при наскрізному продуві тільки один примусовий потік.

У системах примусового повітряного охолодження можливі різні схеми розташування вентиляторів. При раціональному застосуванні потужної централізованої охолоджуючої установки (однієї на кілька шаф), вентилятор виконується виносним і розміщується в окремому приміщенні, подача і відведення повітря у шахти перетворювачів і від них здійснюються при цьому за допомогою спеціальних повітроводів. Така система замкнутої вентиляції дорога і складна, тому доцільна тільки для шаф великої потужності і у випадку роботи перетворювача в умовах запиленості та загазованості середовища [24].

Таким чином, різні способи примусового повітряного охолодження мають ряд переваг і недоліків. Системи охолодження вибираються індивідуально для кожного приладу, враховуючи умови його експлуатації і габаритні розміри. Щоб правильно вибрати й оцінити систему охолодження, необхідно провести дослідження та макетування об'єкта. На етапі досліджень використовується комп'ютерне моделювання теплових режимів в системі інженерного аналізу, щоб зменшити кількість інженерних помилок і оптимізувати конструкцію системи охолодження.

2.3 Розробка теплової моделі системи охолодження в системі інженерного аналізу

Забезпечення теплового режиму є одним із важливих завдань, що виникають при проектуванні радіоелектронної апаратури. Особливо це завдання стає актуальним для мобільної радіоелектронної апаратури касетного типу, яка характеризується високим питомим тепловиділенням. У радіоелектронній апаратурі касетного типу використовується щільне розміщення однотипних блоків. Прикладом такої конструкції може послужити твердотільний передавач показаного на рис. 2.7.



1 – група існуючих вентиляторів; 2 – грані, які є вільними входами для повітря; 3 – внутрішні вентилятори; 4 – запропоновані вентилятори

Рисунок 2.7 – Геометрія досліджуваної моделі

Найчастіше такі пристрої вимагають примусового повітряного охолодження і оребрення поверхні найбільш теплонавантажених блоків. Тому теплову модель конструкції можна представити у вигляді оребреного каналу з вимушеним повітряним охолодженням [14].

Останні роки для вирішення завдань теплового проектування використовуються програмні засоби інженерного аналізу [8]. У радіоелектронній апаратурі такий підхід дозволив значно підвищити точність методів оптимізації конструкцій герметичних блоків радіоелектронної апаратури [12] і параметрів ребристих радіаторів з природним повітряним охолодженням.

Теплова модель оребреного каналу складається з двох пристроїв, безпосередньо каналу та вентилятора для подачі постійного повітряного потоку.

Моделювання теплових процесів буде відбуватися програмним комплексом SolidWorks модулем Flow Simulation. Для проведення розрахунків необхідно створити 3D модель системи охолодження. Перш за все створюється твердотільна модель каналу, яку можливо представити у вигляді двох ребристих радіаторів з основою у вигляді пластини (рис. 2.8).

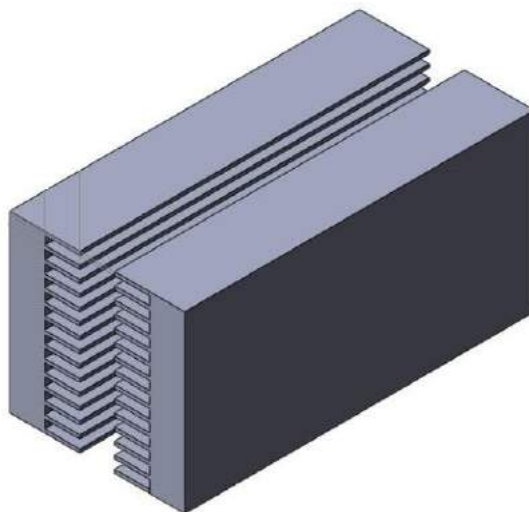
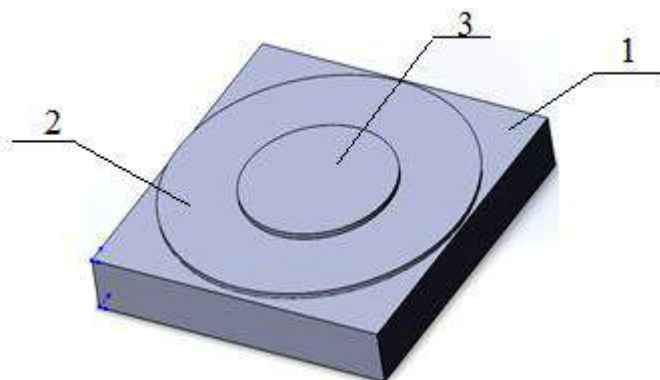


Рисунок 2.8 – 3D модель модель оребреного каналу

Для відводу гарячого повітря від каналу необхідно створити спрощену модель вентилятора (рис. 2.9). Яка складається з кожуха вентилятора, деталі, яка імітує лопаті вентилятора та деталі, яка імітує вузол до якого кріпляться лопаті вентилятора.

Для проведення моделювання теплових процесів необхідно задати вентилятор для забезпечення умов вимушеного охолодження, параметри матеріалів і теплоносія:

- матеріал каналу – сплав АД33 (Alluminum 6061)
- матеріал вентилятора – пластик РВТ
- температура навколишнього середовища $t_c = 55^\circ \text{C}$;
- коефіцієнт чорноти каналу $\varepsilon = 0,91$;
- потужність, яка виділяється елементом $P = 30 \text{ Вт}$;
- вентилятор (вибирається виходячи з розмірів каналу).



1 – кожуха вентилятора; 2 – деталі, яка імітує лопаті вентилятора; 3 – деталі, яка імітує вузол до якого кріпляться лопаті вентилятора.

Рисунок 2.9 – Спрощена модель вентилятора

Фірми та моделі вентилятора задаються з каталогу «Інженерна база даних» в якому містяться фірми і моделі вентиляторів, їх властивості, і графіки залежності об'ємної витрати від тиску (рис.2.10).

Виходячи з типу вентилятора вибирається грань на яку він буде здаватися. В даному випадку для вхідного зовнішнього вентилятора вибираємо внутрішню грань циліндра, яка імітує лопаті вентилятора. Вибираємо вентилятор з найбільшим показником об'ємної витрати, як результат отримуємо модель вентилятора.

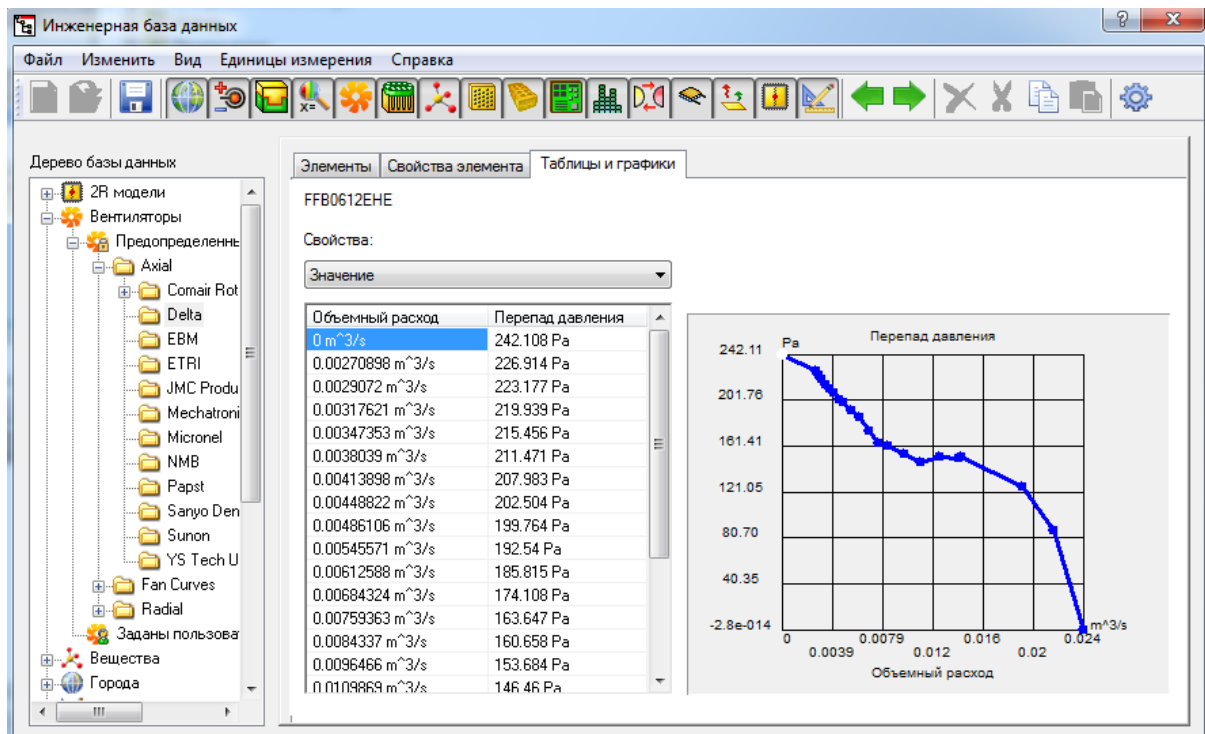


Рисунок 2.10 – Інженерна база даних

Моделювання теплових процесів відбувається в домені, розміри та форма якого, визначаються відповідно до потреб технічного завдання, користувачем. Зазвичай домен має форму паралелепіпеда, більша сторона якого направлена в сторону руху повітря. Безпосередньо в домені створюється сітка для розрахунку.

Процес побудови розрахункової сітки починається з побудови так званої базової сітки – вона виходить розбивкою простору побудови сітки на шари площинами, паралельними координатним площинам використовуваної декартової системи координат моделі. Число цих площин, що визначають

базову сітку, тобто число осередків базової сітки уздовж кожної з координатних осей, задається або автоматично на підставі заданих користувачем установок, або безпосередньо самим користувачем. При необхідності деякі з цих площин, а також розташування інших площин між цими площинами і між цими та граничними площинами, можуть бути задані самим користувачем. Результат побудови сітки показаний на рис. 2.11.

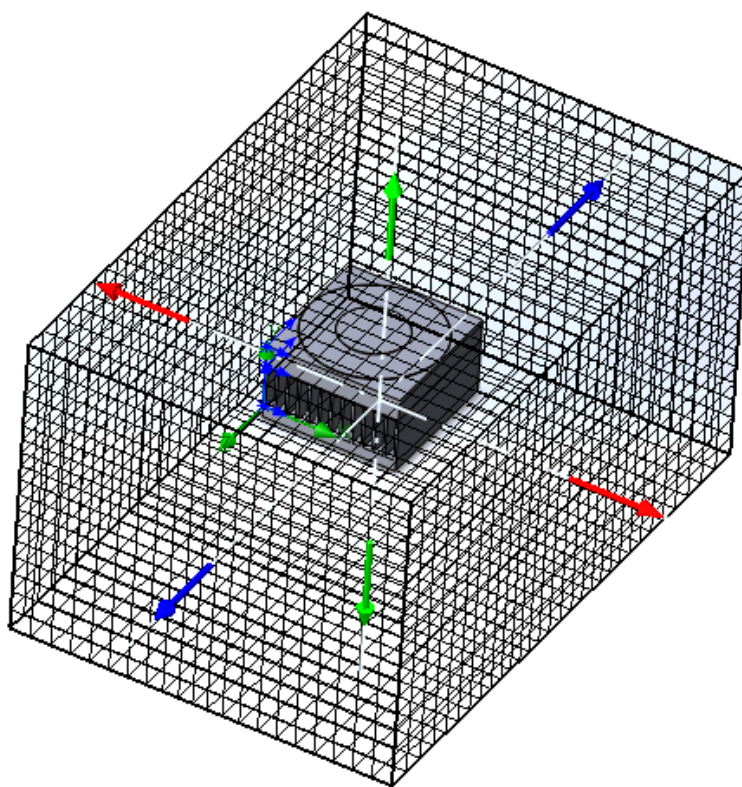


Рисунок 2.11 – Приклад розрахункової сітки

Після виконання всіх необхідних етапів можна переходити до самого розрахунку теплових режимів. По завершенню розрахунку стане доступний широкий перелік можливості демонстрації та аналізу результатів моделювання, які дозволять отримати таку інформацію, як температуру в будь-якій точці каналу, розподіл температури в каналі, швидкість та напрям руху теплових потоків, максимальну та мінімальну температуру, розподіл температури в середині каналу та ін..

Таким чином, розроблено теплову модель оребреного каналу. Модель являє собою канал між блоками, які мають оребрення. Оскільки в конструкціях касетного типу часто використовується щільне розміщення однотипних блоків з ребрами, для проведення дослідження можна використовувати спрощену теплову модель оребреного каналу, яка складається з оребреного каналу та вентилятора. При побудові моделі було прийнято ряд допущень, які дозволяють проводити точний аналіз теплових режимів для каналів та досліджувати залежність максимального значення температури тепловідведення при зміні розмірів оребрення.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МАСОГАБАРИТНИХ І ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЛОКІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ

3.1 Дослідження масогабаритних показників блоків з природним повітряним охолодженням

Масогабаритні показники блоків радіоелектронних апаратів оцінюються їх об'ємом, масою і масогабаритом – добутком маси і об'єму блока. При аналізі масогабаритних показників використовувалася спрощена конструкція блока, яка не враховує масу і габарити електрорадіоелементів, з'єднувачів і елементів об'ємного монтажу. В основі конструкції блока використовувалася пустотіла рама з квадратного алюмінієвого профілю. Друковані плати мали однакові розміри і орієнтовані в блоці вертикально.

Відповідно до масогабаритних показників досліджувалися габаритні, несучі та масогабаритні характеристики блока. Габаритні характеристики являють собою сімейство залежностей об'єму блока від кількості плат та відстані між ними.

При дослідженні габаритних характеристик об'єм блока обчислювався за допомогою виразу:

$$V = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 , \quad (3.1)$$

де L_1, L_2 і L_3 – довжина, ширина і висота блока.

При однакових відстанях між платами розміри блока визначаються за співвідношеннями:

$$L_1 = 2d_k + n \cdot h_{\Pi} + n \cdot d_{\Pi}; \quad (3.2)$$

$$L_2 = 2d_k + l_{\Pi_1} + 2 \cdot l_T \quad (3.3)$$

$$L_3 = 2d_k + 2d_p + l_{\Pi_2} + 2h_n, \quad (3.4)$$

де l_{Π_1} і l_{Π_2} – довжина та ширина друкованої плати;

d_k – товщина стінок і кришок корпусу;

n – кількість друкованих плат;

h_{Π} – відстань між платами;

d_{Π} – товщина плат;

l_T – відстань від стінки корпусу до плати;

d_p – товщина рами;

h_n – висота направляючої.

У співвідношеннях (3.2) – (3.4) розміри плат визначаються за допомогою співвідношення:

$$l_{\Pi_1} \times l_{\Pi_2} = \frac{S_e}{n} \quad (3.5)$$

де S_e – площа, яку займають електрорадіоелементи на друкованій платі з урахуванням коефіцієнта заповнення плати.

Дослідження габаритних характеристик проводилося для блоку із загальною монтажною площею електрорадіоелементів $S_e = 0.033 \text{ м}^2$. Задавалася також товщина стінок і кришок корпусу $d_k = 1 \text{ мм}$, товщина плат $d_{\Pi} = 2 \text{ мм}$, рами $d_p = 5 \text{ мм}$, відстань від стінки корпусу до плати $l_T = 4 \text{ мм}$. Висота напра-

вляючої становила $h_n = 5$ мм. Межі зміни відстані між платами обмежувалися мінімальною компоновкою, якій відповідає відстань $h_n = 5$ мм, і максимальною компоновкою з відстанню $h_n = 40$ мм.

Розраховані при зазначених конструктивних обмеженнях габаритні характеристики блока з природним повітряним охолодженням в залежності від кількості друкованих плат та відстаней між ними показані на рис.3.1.

З рис.3.1 видно, що залежність об'єму блока від кількості плат має мінімум при кількості плат $n = 2 - 3$ і відстанях між ними 5 мм. В цьому випадку оптимізація кількості плат дозволяє зменшити об'єм блока на 10 – 15 %. При значних відстанях між платами найменшому об'єму відповідає одноплатна компоновка.

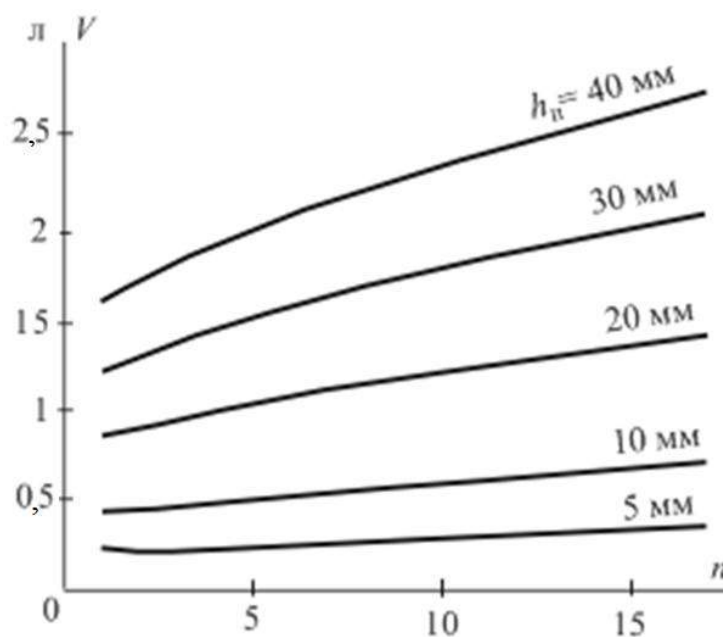


Рисунок 3.1 – Габаритні характеристики блока з природним повітряним охолодженням

Несучі характеристики блоку являють собою сімейство залежностей маси блока від кількості друкованих плат, відстаней між ними та ширини на-

правляючих. При обчисленні маси блока враховувалася маса стінок і кришок корпусу, плат, направляючих і рами:

$$m_{\text{б}} = m_{\text{к}} + m_{\text{п}} + m_{\text{н}} + m_{\text{р}}, \quad (3.6)$$

де $m_{\text{б}}$ – маса блока,

$m_{\text{к}}$, $m_{\text{п}}$, $m_{\text{н}}$ і $m_{\text{р}}$ – маса стінок і кришок корпусу, плат, направляючих і рами.

Доданки в співвідношенні (3.6) обчислювалися за допомогою виразів:

$$m_{\text{к}} = \rho_{\text{к}}(2d_{\text{к}} \cdot L_1 \cdot L_3 + 2d_{\text{к}} \cdot (L_2 - 2d_{\text{к}}) \cdot L_3 + 2d_{\text{к}} \cdot (L_1 - 2d_{\text{к}}) \cdot (L_2 - 2d_{\text{к}})); \quad (3.7)$$

$$m_{\text{п}} = \rho_{\text{п}} \cdot n \cdot l_{\text{п1}} \cdot l_{\text{п2}} \cdot d_{\text{п}}; \quad (3.8)$$

$$m_{\text{н}} = 2n\rho_{\text{н}} \cdot (l_{\text{п1}} + 2 \cdot l_{\text{т}}) \cdot h_{\text{н}} \cdot d_{\text{н}}; \quad (3.9)$$

$$m_{\text{р}} = 4\rho_{\text{н}} \cdot [d_{\text{р}}^2 - (d_{\text{р}} - 2d_{\text{с}})^2] \cdot [(L_1 - 2d_{\text{к}} - 2d_{\text{р}}) + (L_3 - 2d_{\text{к}}) + (L_2 - 2d_{\text{к}} - 2d_{\text{р}})] \quad (3.10)$$

де $d_{\text{н}}$ – ширина направляючої;

$d_{\text{с}}$ – товщина стінок рами.

$\rho_{\text{к}}$, $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{н}}$ і $\rho_{\text{р}}$ – густина матеріалу кришок і стінок корпусу, плат, направляючих і рами.

При розрахунках враховувалося, що направляючі, рама, стінки і кришки корпуса виготовлені із алюмінію густиною 2700 кг/м^3 . Багатошарові друковані плати мали густину 1800 кг/м^3 . Товщина стінок рами $d_c = 1 \text{ мм}$.

Розраховані при зазначених конструктивних обмеженнях несучі характеристики блока з природним повітряним охолодженням показані на рис.3.2.

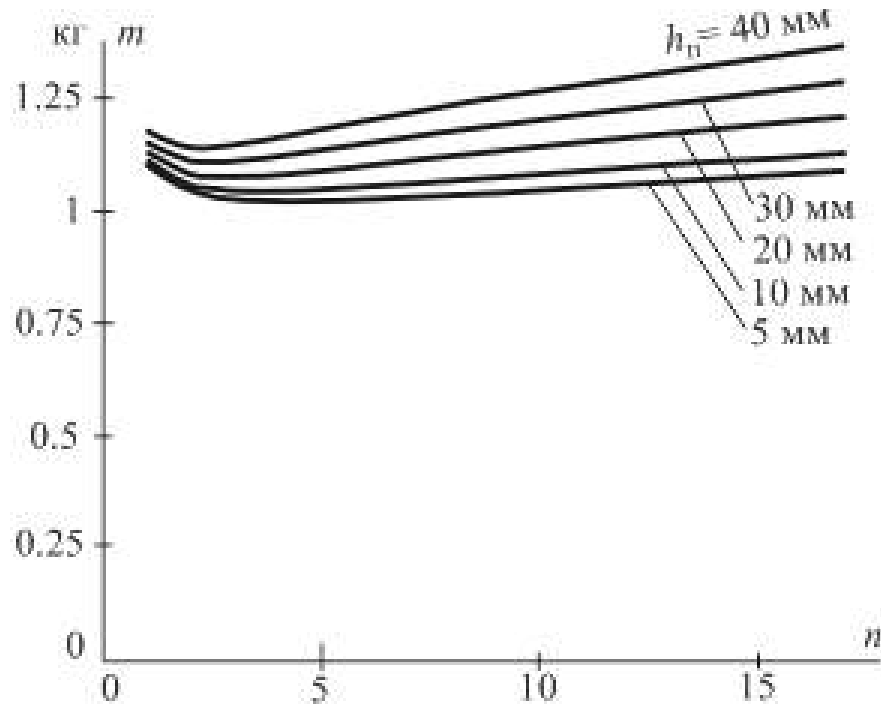


Рисунок 3.2 – Несучі характеристики блока з природним повітряним охолодженням

Із рис.3.2 видно, що деяке збільшення кількості плат являється ефективним методом зменшення маси блока. При кількості плат $n = 2 - 4$ маса блока зменшується на 20 – 40 % порівняно з одноплатним корпусом. Така ефективність обумовлена в основному зменшенням маси рами і кришок корпуса.

Масогабаритні характеристики утворюються як сімейство залежностей масогабарита (добуток маси й об'єму блока) від кількості друкованих плат. Обчислені за допомогою співвідношень (3.1) – (3.10) масогабаритні характеристики досліджуваного блоку показані на рис. 3.3.

З рис.3.3 видно, що екстремальні значення кількості плат на масогабаритних характеристиках зменшуються при збільшенні міжплатних відстаней і лежать в діапазоні від 2 до 3 друкованих плат. Значення оптимальних масогабаритів на 10 – 20 % менше масогабарита одноплатного корпусу.

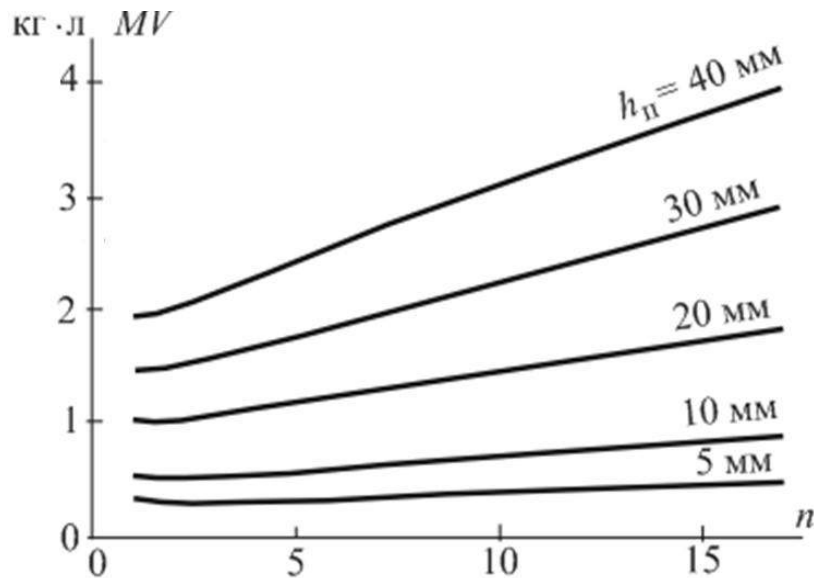


Рисунок 3.3 – Масогабаритні характеристики блоку з природним повітряним охолодженням

Таким чином, дослідження масогабаритних характеристик блоку з природним повітряним охолодженням показало, що ці характеристики суттєво залежать від кількості плат. Проведені розрахунки показують, що при кількості плат $n = 2 - 3$ і відстанях між платами $h_n = 5 - 10$ мм можливе зменшення об'єму на 30 – 40 % в порівнянні з одноплатною компоновкою. Аналогічні габаритні, несучі та масогабаритні характеристики мають блоки з природним повітряним охолодженням при інших параметрах рами, стінок, кришок, направляючих і друкованих плат. Ці характеристики можуть використовуватися при оптимізації компоновки блоку для вибору кількості друкованих плат. Вибір відстаней між платами здійснюється з урахуванням теплових режимів

блоків. Для цього використовуються теплові характеристики радіоелектронних пристроїв.

3.2 Теплові характеристики блоків з природним охолодженням

Теплові характеристики блоків радіоелектронних апаратів можуть бути оцінені тепловими характеристиками конструкції корпусу та вентиляційними характеристиками. До теплових характеристик конструкції корпусу відносяться: теплові міжплатні характеристики, теплові рейкові характеристики і теплові конфігураційні характеристики.

Моделювання розподілу температур в блоці з природним повітряним охолодженням проводилося в середовищі SolidWorks за допомогою модуля Flow Simulation. Дослідження проводилося на моделі показаній на рис.1.7 при кількості плат $n=3$. Задавалась температура оточуючого середовища $t_c = 50^\circ\text{C}$ і коефіцієнт чорноти усіх поверхонь $\varepsilon = 0,91$. Коефіцієнт теплопровідності рами, направляючих, стінок і кришок корпусу приймався $\lambda_k = 140 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Багатошарові друковані плати мали коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{\text{п}} = 3(40) \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ відповідно в аксіальному та радіальному напрямках. Загальна потужність, що розсіюється усіма друкованими платами складала $P_0 = 15 \text{ Вт}$.

У процесі моделювання визначалися максимальні значення температур на платах і поверхні корпусу. Змінювалися відстань між платами, ширина направляючих, співвідношення сторін плат, коефіцієнти перфорації і розмір бічної перфорації. Створювалися міжплатні, перфораційні і конфігураційні теплові характеристики. При створенні теплових характеристик визначався приведений перепад температури, як відношення максимальних перепадів температури до загальної потужності:

$$R_T = \frac{t_{\max} - t_c}{P_0}, \quad (3.11)$$

де R_T – приведений перепад температури;

$t_{\max}$ – максимальна температура на елементах конструкції;

t_c – температура окружающей среды;

P_0 – загальна потужність, що розсіюється усіма платами блока.

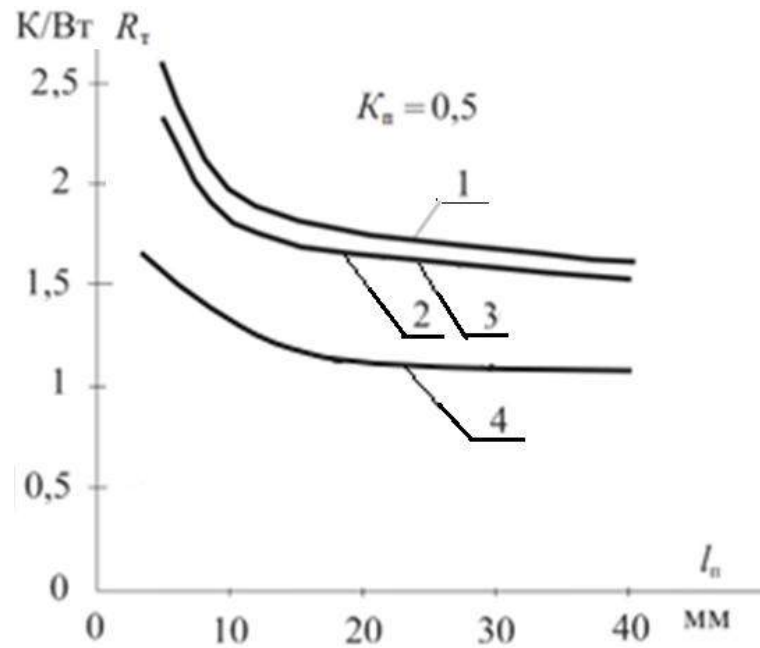
Теплові міжплатні характеристики утворюються як сімейство залежностей приведенного перепаду температур друкованих плат від відстані між платами. Теплові міжплатні характеристики блоку з вказаними параметрами елементів конструкції надані на рис. 3.5.

Коефіцієнт перфорації визначається співвідношенням:

$$K_{\Pi} = \frac{S_o}{S_k} \quad (3.12)$$

S_k і S_o – площа кришки корпусу і загальна площа перфораційних отворів на кришках корпусу.

Моделювання теплових режимів блока радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням показало, що найбільш нагрітою є середня плата, а максимальне значення температури спостерігалось у верхній частині середньої плати і досягало $79,6^{\circ}\text{C}$ при відстані між платами $h_{\Pi} = 5\text{ мм}$. Для цього випадку максимальна температура правої і лівої плат досягали значення $75,4^{\circ}\text{C}$, рами – $75,97^{\circ}\text{C}$, а направляючих – $78,93^{\circ}\text{C}$. Ці значення температур можуть бути критичними для поверхні корпусів деяких електродіоелементів.

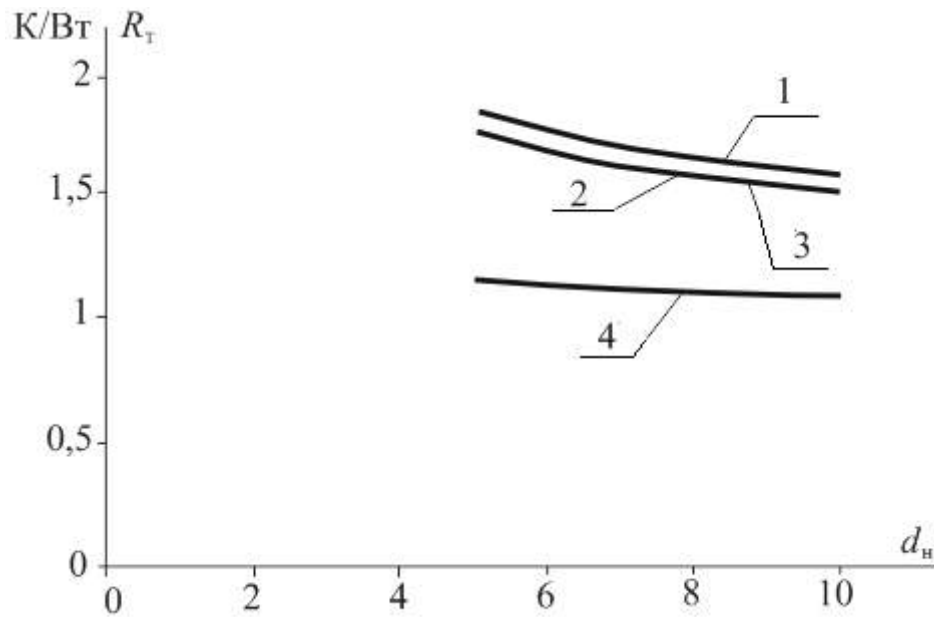


1 – середня плата; 2 і 3 – бокові плати; 4 – корпус.

Рисунок 3.5 – Теплові міжплатні характеристики блока радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням

Теплові рейкові характеристики утворюються як сімейство залежностей приведених перепадів температур друкованих плат від ширини направляючих. Дослідження проводилося при міжплатних відстанях $h_n = 20$ мм і коефіцієнті перфорації $K_n = 0,5$. Ширина направляючих обиралася в діапазоні 5 мм до 10 мм. Теплові характеристики несучої конструкції блока з вказаними параметрами елементів конструкції представлені на рис.3.6.

З рис.3.6 видно, що збільшення ширини направляючих є ефективним способом зменшення перепадів температур по друкованим платам та корпусу. Збільшенням ширини направляючих можливо зменшити перепади температур в блоці на 25 % відносно мінімальної компоновки, якій відповідає мінімально допустима ширина направляючої $b_n = 5$ мм. Однак, разом зі збільшенням цього параметра відбувається різке зростання маси та об'єму блока, що призводить до завищення масогабаритних характеристик.



1 – середня плата; 2 і 3 – бокові плати; 4 – корпус.

Рисунок 3.6 – Теплові рейкові характеристики блока

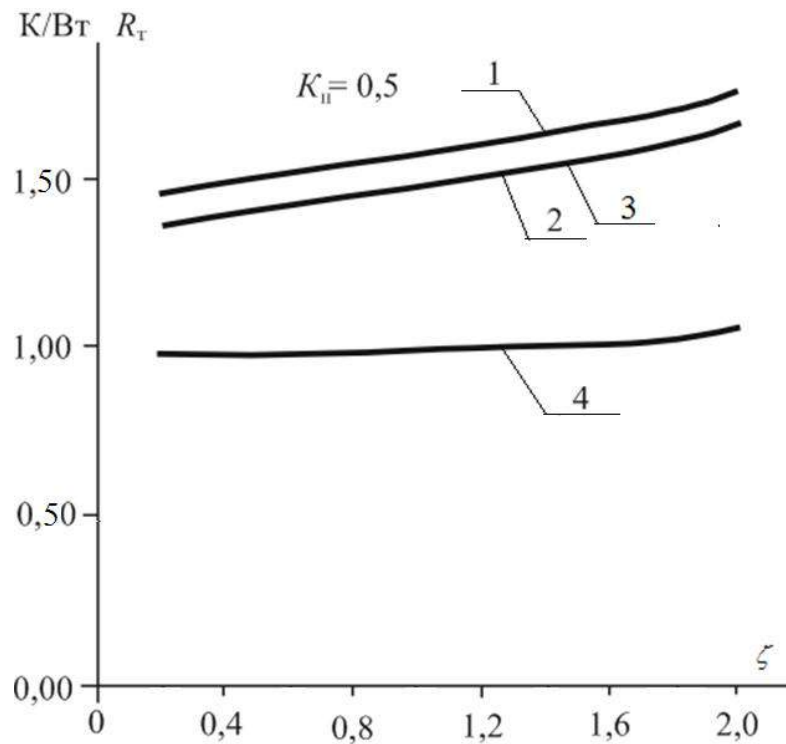
Теплові конфігураційні характеристики утворюються як сімейство залежностей приведених перепадів температур друкованих плат від співвідношення сторін плат. Дослідження проводилося при міжплатних відстанях $h_{\Pi} = 20$ мм і коефіцієнті перфорації $K_{\Pi} = 0,5$. Теплові міжплатні характеристики блока з вказаними параметрами елементів конструкції представлені на рис. 3.7.

Коефіцієнт співвідношення сторін плат визначається співвідношенням:

$$\xi = \frac{l_{\Pi 2}}{l_{\Pi 1}} \quad (3.13)$$

З рис.3.7 видно, що зменшення висоти друкованих плат дозволяє зменшити їх перегрів до 10 % в порівнянні з квадратними платами. Збільшення

висоти плати порівняно з квадратними друкованими платами призводить до збільшення перегрівів з одночасним збільшенням габариту.



1 – середня плата; 2 і 3 – бокові плати; 4 – корпус.

Рисунок 3.7 – Теплові конфігураційні характеристики блоку радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням

Таким чином, дослідження теплових характеристик показало, що перегіви елементів конструкції блоків суттєво залежать від відстані між платами, ширини направляючих, співвідношення сторін плат та коефіцієнта перфорації блоку. Із міжплатних характеристик видно, що максимальне значення температури в досліджуваному блоці спостерігається в верхній частині середньої плати і досягає $79,6^{\circ}\text{C}$ при відстані між платами 5 мм. Тепловий режим блоку покращується при збільшенні цієї відстані. Можливе зменшення перепадів температур на 40 %.

Результати дослідження теплових конфігураційних характеристик показали, що зменшення висоти друкованих плат дозволяє зменшити їх перегрів до 10 % в порівнянні з квадратною платою. Однак це призводить до збільшення масогабаритних показників блока. У зв'язку з цим при конструюванні блоків радіоелектронної апаратури рекомендовано використовувати коефіцієнти співвідношення сторін плат $\xi < 1$.

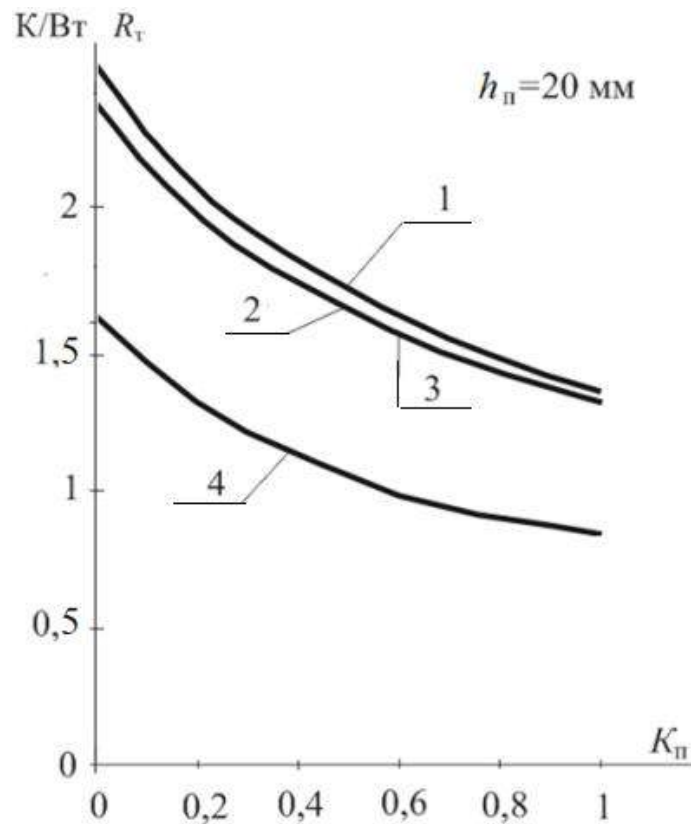
Збільшенням ширини направляючих можливо зменшити перепади температур в блоці на 25 % відносно мінімальної компоновки, якій відповідає мінімально допустима ширина направляючої $b_n = 5$ мм. Однак, разом зі збільшенням цього параметра відбувається різке зростання маси та об'єму блока, що призводить до завищення масогабаритних характеристик.

3.3 Дослідження вентиляційних характеристики блоків з природним охолодженням

Вентиляційні характеристики блоків радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням визначаються вертикальними та боковими потоками теплоносія. У відповідності з цим створюються вертикальні та бокові вентиляційні характеристики.

Вертикальні вентиляційні характеристики блока з утворюються як сімейство залежностей приведених перепадів температур друкованих плат від коефіцієнта перфорації верхньої та нижньої кришок корпусу. При дослідженні використовувалися круглі перфораційні отвори з прямим розташуванням і діаметром від 1 до 3 мм. Коефіцієнт перфорації змінювався в діапазоні від $K_n = 0$ до $K_n = 1$. Меншому значенню відповідає герметичний блок, а максимальному – відсутність верхньої і нижньої кришок. Відстань між пла-

тами обиралась $h_{\pi}=20\text{ мм}$. Вертикальні вентиляційні характеристики блока з вказаними параметрами елементів конструкції надані на рис. 3.8.



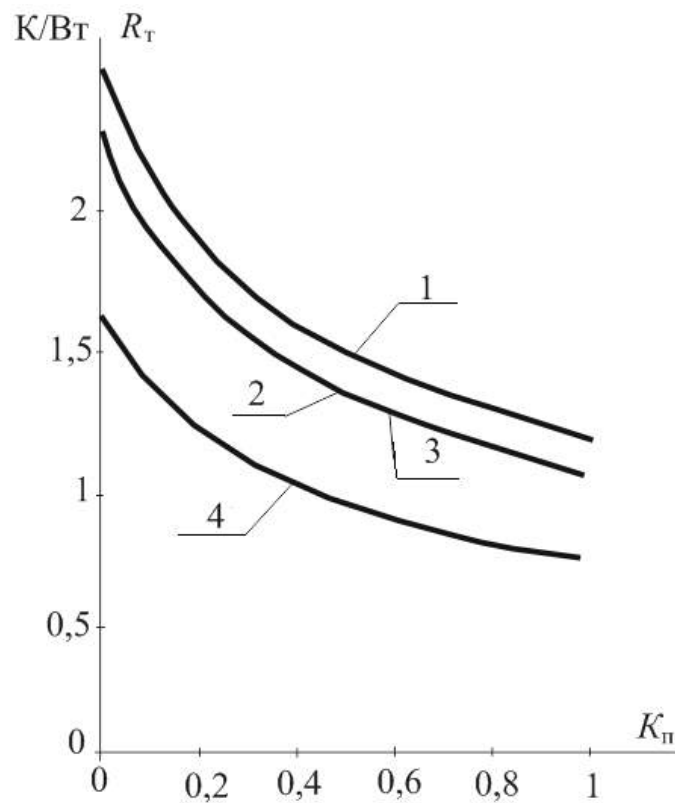
1 – середня плата; 2 і 3 – бокові плати; 4 – корпус.

Рисунок 3.8 – Вертикальні вентиляційні характеристики блока

Із рис. 3.8 видно, що тепловий режим блока при природному повітряному охолодженні в значній мірі залежить від коефіцієнті перфорації верхньої і нижньої кришок корпусу. Зі збільшенням площі перфорації перепади температур в блоці зменшуються. Найкращий тепловий режим забезпечується при коефіцієнті перфорації $K_{\pi} = 1$, коли відсутні кришки корпусу. Отримання значних K_{π} ускладнено технологічно, оскільки вимагає відстані між краями отворів менше 1 – 2 мм. У зв'язку з цим частіше за все використовують коефіцієнти перфорації $K_{\pi} = 0,4 - 0,6$.

Бокові вентиляційні характеристики блока утворюються як сімейство залежностей приведених перепадів температур друкованих плат від сукупного коефіцієнта перфорації бокових стінок, верхньої та нижньої кришок корпусу. При дослідженнях використовувалися перфораційні отвори з прямим розташуванням та діаметром від 1 до 3 мм. Вважалося, що бокові перфораційні отвори розташовуються лише в верхній частині бокових стінок блока. Відстань між платами обиралась $h_n = 20$ мм.

Бокові вентиляційні характеристики блока з вказаними параметрами елементів конструкції надані на рис. 3.9.



1 — середня плата; 2 і 3 — бокові плати; 4 — корпус.

Рисунок 3.9 — Бокові вентиляційні характеристики блока

Із рис. 3.9 видно, що тепловий режим блока при природному повітряному охолодженні покращується з введенням бокової перфорації приблизно на 15 % порівняно з блоком лише в верхньою перфорацією та на 60 %, порів-

няно з герметичним корпусом. Збільшення площі бокової перфораційної решітки в незначній мірі покращує тепловий режим блоку. Найбільший вплив збільшення бокової перфорації блока здійснює на бокові плати, перепади температур по яким зменшуються приблизно на 30 %.

Таким чином, збільшення площі перфорації стінок і кришок блока може на 60 % зменшити перепади температур порівняно з герметичним корпусом. Ці значення досягаються при використанні як верхньої, так і бокової перфорації та значеннях коефіцієнта перфорації $K_p = 0,4 - 0,6$. Збільшення коефіцієнта перфорації вище цих значень обмежено технологічно.

Результати дослідження можуть бути використані при розробці математичних моделей для оптимізації масогабаритних характеристик блоків радіоелектронної апаратури з природним повітряним охолодженням за умови забезпечення теплових режимів.

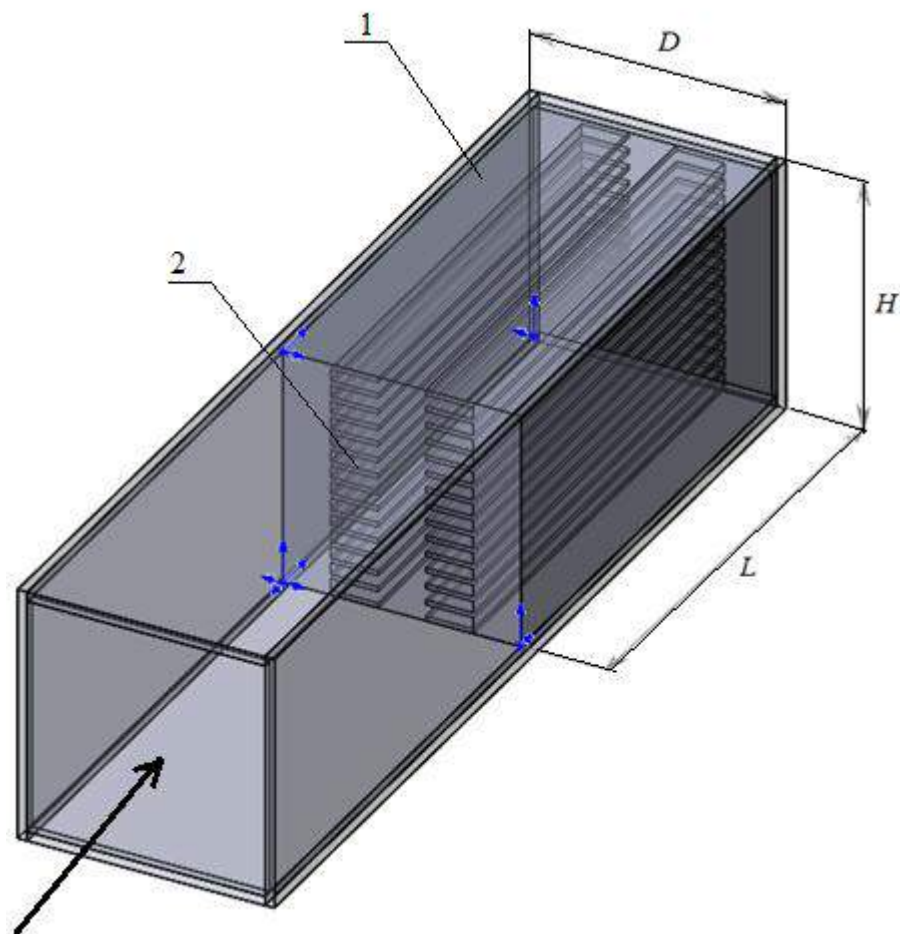
3.4 Теплові характеристики блоків з повітряним примусовим охолодженням

Дослідження теплових характеристик моделі оребреного каналу проводилися з використанням модуля інженерного аналізу системи автоматизованого проектування Solid Works. При побудові теплової моделі в системі інженерного аналізу були прийняті наступні обмеження:

- коефіцієнт теплопровідності матеріалу не залежить від температури;
- бічні стінки оребрення каналу адіабатичні;
- для забезпечення примусового охолодження на вхід подається постійний повітряний потік на відстані 100 мм, який задається об'ємною витратою повітря;
- потужність задавалася на зовнішні поверхні основи оребрена каналу.

Моделювання проводилося для каналу, який мав параметри: довжина каналу – 100 мм, висота каналу – 50 мм, ширина каналу – 50 мм, відстань між пристроями 10 мм. Розсіює потужність – 50 Вт. Температура навколишнього середовища 50°C.

Тривимірна модель каналу представлена на рис.3.10. Габаритні розміри пристроїв: H – висота каналу, L – довжина каналу і D – ширина каналу. Стрілкою показаний напрямок повітряного потоку.



1 – основа; 2 – ребрення.

Рисунок 3.10 – Модель ребреного каналу

Поперечний переріз ребреного каналу показаний на рис.3.11, где d_p – товщина основи каналу; l_k – відстань між пристроями в каналі; d_r – товщина ребра; l_r – висота ребра.

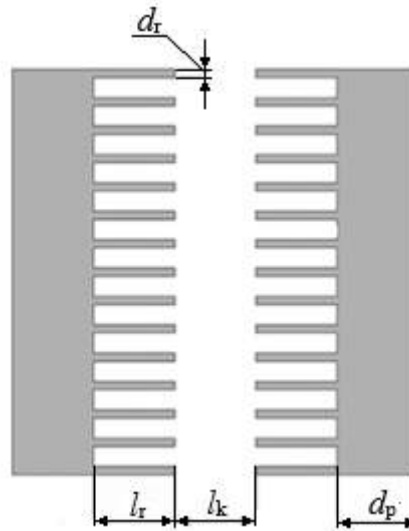
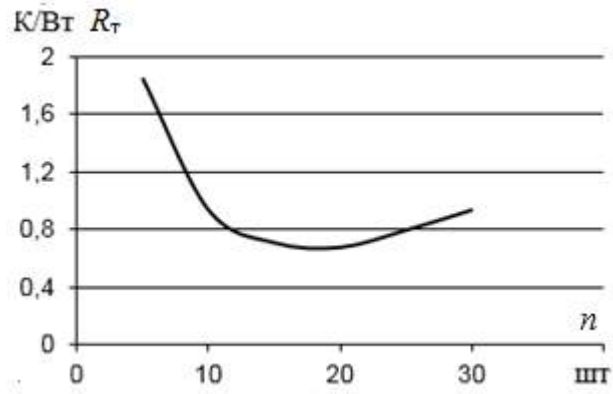


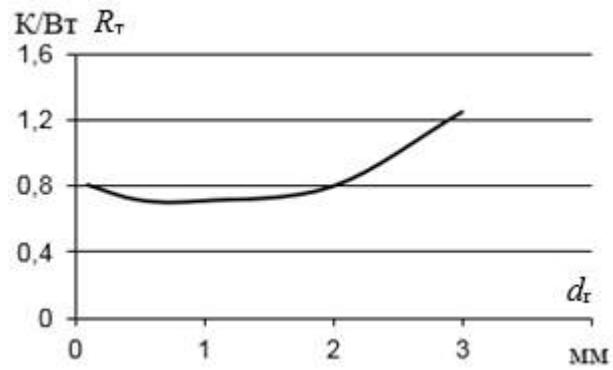
Рисунок 3.11 – Поперечний переріз ребреного каналу

Досліджували залежність максимальної температури каналу від параметрів ребрення: довжина ребра, ширина ребра, кількість ребер. Габаритні розміри каналу: висота, довжина, ширина не змінювалися. Результати моделювання представлялися у вигляді теплових характеристик залежностей теплового опору від параметрів ребрення.

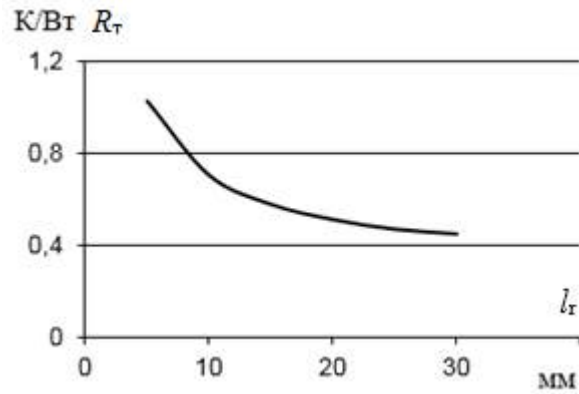
Для побудови теплових характеристик ребреного каналу використовувався параметр – тепловий опір. Теплові характеристики показані на рис. 3.12 і описують залежність максимального теплового опору каналу R_T від кількості ребер (рис. 3.12а), товщини ребра (рис. 3.12б) і висоти ребра (рис. 3.12в). З графіків видно, що залежності теплового опору ребреного каналу R_T від кількості ребер n та ширини ребра d_r мають екстремум, тобто існує можливість знайти оптимальне значення цих параметрів. Залежність теплового опору ребреного каналу R_T від довжини ребра l_r має монотонний вигляд.



а)



б)



в)

а) зміна кількості ребер; б) зміна товщини ребра; в) зміна висоти ребра

Рисунок 3.12 – Залежність теплового опору R_T від зміни конструктивних параметрів оребреного каналу

Довжину ребра можна оптимізувати або можна зафіксувати його значення у випадках, коли немає можливості змінювати габаритні розміри основного корпусу. Отримані результати та методику можна використовувати для теплової оптимізації радіоелектронної апаратури [36].

Таким чином, було проведено дослідження впливу конструктивних параметрів каналу, таких як, кількість ребер, ширина та довжина ребра на тепловий опір. Дослідження показало, що кількість ребер зменшує тепловий опір каналу більш ніж у два рази, найкращий тепловий режим спостерігається при $n = 15$ до $n = 18$. Значення ширини ребра $d_r \geq 2$ мм, призводить до різкого підвищення теплового опору та погіршення теплового режиму каналу.

Збільшення довжини ребра каналу позитивно впливає на тепловий опір, чим більше значення l_r тим менше тепловий опір. Але збільшення конструктивних параметрів призводить до значного погіршення масогабаритних показників, тому актуальним є проведення оптимізаційних процедур, для знаходження оптимальних параметрів конструкції каналу.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКІВ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ

Магістерська робота «Дослідження методів теплового проектування блоків РЕА» призначена для оптимізації розмірів блоків з урахуванням теплових параметрів. Дослідження дозволяє аналізувати вплив теплових явищ на компоненти РЕЗ, шляхом побудови моделей в програмі для налізу теплових режимів з подальшою оцінкою цих параметрів. Розроблені моделі будуть математично обґрунтованими, що може гарантувати отримання найбільш оптимального результату. Дослідження є теоретичним і проводиться на комп'ютері для вивчення впливу теплових явищ на компоненти РЕЗ.

4.1 Планування розрахунків теплових режимів блоків РЕЗ

Весь процес дослідження можна розділити на етапи. Для кожного етапу вказуються трудомісткість, кількість виконавців і тривалість робіт. У моделюванні приймають участь інженер протягом 3,25 місяців і консультант протягом 0,25 місяця. Дослідження починається другого липня і повинна бути виконана до дев'ятнадцятого жовтня 2018 року. Тривалість робіт визначають за формулою 4.1:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R} \quad (4.1)$$

де $T_{\text{ц}}$ - тривалість циклу, днів;

Q - трудомісткість, людино-днів;

R - кількість виконавців, чол.

Отримана інформація зведена в табл. 4.1

Таблиця 4.1 - Завдання та обов'язки по розробці моделі

Найменування роботи	Трудомісткість		Виконавці	Тривалість, днів
	люд.- дні	%к підсу- мку		
1. Аналіз предметної області (ПО)	10	13,15	Консультант Інженер	5
2. Визначення вимог до програмному продукту	5	6,58	Інженер	5
3. Проектування структури моделей	21	27,63	Інженер	21
4. Створення моделей у вибраній системі	20	26,32	Інженер	20
5. Завдання граничних умов та параметрів моделей	10	13,15	Інженер	10
6. Аналіз отриманих результатів	10	13,15	Інженер	10
Разом	76	100		71

За даними табл. 4.1 складається зведений стрічковий графік планування розробки моделей, який представляє собою таблицю, в першому стовпці якої розміщені в порядку збільшення термінів початку виконання всі види роботи, а навпаки - календарний період їх виконання. Даний графік наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Зведений стрічковий графік планування розробки моделей

Найменування робіт	Календарний період, дні														
	02.07-06.07	09.07-13.07	16.07-20.07	23.07-27.07	30.07-03.08	6.08-11.08	13.08-17.08	20.08-24.08	27.08-31.08	03.09-07.09	10.09-14.09	17.09-21.09	24.09-28.09	01.10-05.10	08.10-12.10
1.Аналіз предметної області															
2.Вивчення вимог до програмного продукту															
3.Розробка структурних моделей															
4.Проектування у вибраних системах															
5.Проведення розрахунків															
6.Аналіз отриманих результатів															



- консультант



- інженер

4.2 Визначення витрат на моделювання моделі

Для визначення витрат на моделювання моделі складається калькуляція вартісної вартості робіт, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- єдиний соціальний внесок (ЄСВ);
- витрати на спеціальне обладнання;
- матеріали і комплектуючі вироби;
- накладні витрати;
- податки.

4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників, зайнятих в моделюванні моделі. Розрахунок зарплати ведеться на підставі даних про трудомісткості, представлених в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Чисельність, чол.	Місячний оклад, грн.	Кількість місяців роботи	Сума ЗП, грн
Інженер	1	7400	3,25	24050
Консультант	1	8100	0,25	2037,5
Разом	2			26087,5

4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати

Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної плати працівників і розраховують за формулою 4.2:

$$ЗП_{\text{доп}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,1 \quad (4.2)$$

Підставивши величину основної заробітної плати в формулу 4.2, отримуємо:

$$ЗП_{\text{доп}} = 26087,5 \times 0,1 = 2608,75 \text{ грн.}$$

4.2.3 Відрахування на єдиний соціальний внесок

Вони становлять 22% і беруться від основної та додаткової заробітної плати.

$$ОТ = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \times 0,22 \quad (4.3)$$

$$ОТ = (26087,5 + 2608,75) \times 0,22 = 6313,175 \text{ грн.}$$

4.2.4 Визначення затрат на матеріали

Використовується 3 найменування матеріалів: диск USB флеш-накопичувач – 150 грн.; картридж - 250 грн.; папір - 140 грн. (1 пачка).

Витрати на комплектуючі розраховують за формулою 4.4:

$$M = \sum_{i=1}^n (Ц_i \times N_i \times (1 + K_{\text{т.з.}}) - Ц_{io} \times N_{io}), \quad (4.4)$$

де M - витрати на покупки напівфабрикати і комплектуючі вироби, грн.;

$K_{\text{т.з.}}$ - коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати;

$Ц_i$ - ціна i -го найменування напівфабрикату і комплектуючого, грн.;

N_i - потреба в i -му напівфабрикаті і комплектуючому;

C_{io} - вартість зворотних відходів і-го найменування комплектуючого, грн.;

N_{io} - кількість зворотних відходів і-го найменування;

n - кількість найменувань напівфабрикатів і комплектуючих.

$$C_{io} = 0; N_{io} = 0; K_{m.з.} = 0,05;$$

$$M = (1 + 0,05) \times (150 + 250 + 140) = 567 \text{ грн.}$$

Разом, витрати на комплектуючі становлять 567 грн.

4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

У цю статтю входять витрати на придбання, транспортування, монтаж і налагодження нестандартного обладнання.

Практично, в даному випадку, в цій статті враховуються витрати на оплату машинного часу ЕОМ для проведення розрахунків теплових режимів блоків РЕЗ. Для чого необхідно скласти кошторис «витрат на утримання і експлуатацію устаткування» виходячи з якої визначиться вартість одного машино-години роботи ПК, після множення якої на машинний час пішло на процес моделювання отримаємо витрати на оплату машинного часу.

Амортизаційні відрахування визначають за формулою 4.5:

$$A = \Phi_{\sigma} \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (4.5)$$

де Φ_{σ} - балансова вартість обчислювальної техніки, грн.;

H_a - норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення обчислювальної техніки, для ПК 25%.

Балансова вартість обчислювальної техніки становить 5000 грн.

Отримуємо:

$$A = 27000 \times 0,25 = 6750 \text{ грн.}$$

Статтю «Експлуатація обладнання» розраховують підсумовуванням витрат на електроенергію і допоміжні комплектуючі.

$$C_3 = N_n \times \Phi_{эф} \times K_{зв} \times K_{зм} \times C_e \quad (4.6)$$

де N_n - номінальна потужність ЕОМ, кВт;

$\Phi_{эф}$ - річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ, машино-год;

$K_{зв}$ - середній коефіцієнт завантаження за часом;

$K_{зм}$ - коефіцієнт завантаження по потужності;

C_e - ціна одного кВт-год електроенергії, грн./(кВт-ч).

Номінальна потужність ЕОМ - 0,2 кВт. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ становить 1800 годин. Середні коефіцієнти завантаження за часом і за потужністю рівні відповідно 0,9 і 0,6. Ціна однієї кіловат-години електроенергії становить 2,11 грн.

Отримуємо:

$$C_3 = 0,2 \times 1800 \times 0,9 \times 0,6 \times 2,11 = 410,184 \text{ грн.}$$

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою 4.7:

$$ЗП_{обсл} = ФЗП_{г} \times (1 + K_{отн}) \times \frac{t_{обсл}}{\Phi_{эф,обсл}} \quad (4.7)$$

де $ФЗП_{г}$ - річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) обслуговуючих робітників, грн.;

$K_{отч}$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування і в інші фонди;

$t_{обсл}$ - час протягом року, необхідне на технічне обслуговування ЕОМ, ч/рік;

$\Phi_{эф.обсл}$ - річний ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу, ч/рік.

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 3723 грн., а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 44676 грн. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговуючого ПК працівника дорівнює 1750 год / рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 1 годині на місяць, що в рік становить 12 годин.

$$ЗП_{одсл} = 44676 \times (1 + 0,22) \times \frac{12}{1750} = 373,747 \text{ грн.}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% від балансової вартості обладнання і складає 202,5 грн.

Стаття «Інші витрати» приймається рівною п'яти відсоткам від суми всіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію обладнання. Сума всіх попередніх статей дорівнює 7736,431 грн., 5% від суми складають 386,82 грн.

Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію устаткування внесені в таблицю 4.4

Таблиця 4.4 - Кошторис витрат на утримання і експлуатацію устаткування

Найменування статей витрат	Сума, грн.
Амортизація обладнання	6750,00
Експлуатація обладнання (крім витрат на поточний ремонт)	410,18

Заробітна плата основна і додаткова обслуговуючих робітників з ЄСВ	373,747
Поточний ремонт обладнання	202,5
Інші витрати	386,82
Разом	8123,247

Витрати на оплату машинного часу ЕОМ для розробки моделей і налагодження програмних засобів визначаються за формулою 4.8:

$$C_{mo} = P_{\text{екс}} \times t_{mo} \quad (4.8)$$

де C_{mo} - витрати на оплату машинного часу, грн .;

$P_{\text{екс}}$ - експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу цієї цифрової ЕОМ, грн. / машино-год.;

t_{mo} - машинний час цифрової ЕОМ для написання і налагодження даного програмного продукту, машино-год.

Експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу використовуваної ЕОМ розраховують діленням суми витрат за кошторисом «Витрати на утримання та експлуатацію обладнання (ЕОМ)» (табл. 4.4) на річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ дорівнює 1800 годин. В результаті експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу рівні:

$$P_{\text{екс}} = \frac{8123,247}{1800} = 4,51 \text{ грн/машин} - \text{год}$$

ЕОМ експлуатується 71 день в одну зміну, що становить в сумі 568 годин. Таким чином, витрати на оплату машинного часу складуть:

$$C_{mo} = 4,51 \times 568 = 2561,68 \text{ грн.}$$

4.2.6 Інші прямі витрати

В інші прямі витрати включаються витрати на яке використовується при розробці системи комерційне програмне забезпечення:

- дольове ПЗ, що використовується постійно при роботі ПК (Windows 10 Professional) - 3900 грн. з НДС;
- цільове ПЗ, що купується для даного конкретного завдання (Ansys 15) - 7600 грн. з НДС, (Unigraphics NX 12) - 3750 грн. з НДС.

$$S_{\text{доп.ПЗ}} = \frac{\text{Ц}_{\text{ПЗ Windows}} \times T_{\text{КТС}}}{\Phi_{\text{еф.КТС}} \times T_{\text{с ПЗ}}} \quad (4.9)$$

$$S_{\text{цїл ПЗ}} = \text{Ц}_{\text{ПЗ A}}$$

де $S_{\text{доп.ПЗ}}$ - витрати на дольове ПЗ при моделюванні розробляється в розрахунку ПЗ, грн .;

$S_{\text{цїл ПЗ}}$ - витрати на цільове ПЗ, що купується виключно для моделювання в розрахунку ПЗ, грн .;

$\text{Ц}_{\text{ПЗ Windows}}$ - ціна ПЗ Windows, грн;

$\text{Ц}_{\text{ПЗ A}}$ - ціна ПЗ Ansys і Unsgraphics NX, грн;

$T_{\text{КТС}}$ - машинний час КТС, необхідне користувачеві для моделювання моделі, машино-год / рік;

$\Phi_{\text{еф.КТС}}$ - річний ефективний фонд часу роботи КТС, машино-год / рік;

$T_{\text{с ПЗ}}$ - термін служби дольової ПЗ, років.

$$S_{\text{доп ПЗ}} = \frac{3900 \times 624}{1800 \times 5} = 270,4 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{ціл ПЗ}} = 3750 + 7600 = 11350 \text{ грн.}$$

$$S_{\Sigma} = 270,4 + 11350 = 11620,4 \text{ грн.}$$

4.2.7 Розрахунок накладних витрат

До накладних витрат відносяться витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби (заробітна плата апарату управління, канцелярські витрати і т.д.), утримання та експлуатацію будівель. Накладні витрати включаються до вартості моделювання моделі непрямым шляхом - у відсотках до основної заробітної плати розробників. В даному випадку накладні витрати становлять 40% до основної заробітної плати розробників, що складає 10435 грн.

Результати визначення витрат на моделювання моделі у вигляді калькуляції кошторисної вартості робіт наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 - Калькуляція кошторисної вартості робіт з розрахунків

№	Найменування статей витрат	Сума, грн	Питома вага до підсумку, %
1	Основна заробітна плата	26087,5	36,12
2	Додаткова заробітна плата	2608,75	3,612
3	ЄСВ	6313,175	8,7
4	Матеріали	567	0,78
5	Витрати на спец. обладнання	2561,68	3,55
6	Інші прямі витрати	11620,4	16,088
7	Накладні витрати	10435	14,45
№	Найменування статей витрат	Сума, грн	Питома вага до підсумку, %
8	ПДВ(20%)	12038,701	16,67
9	Разом ($S_{\text{пр}}$)	72232,206	100

4.3 Розрахунок економічної ефективності моделі

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає планованому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР і визначається за формулою:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \times R \times T}{B_{\text{НДР}} \times t_{\text{НДР}}} \quad (4.10)$$

$K_{\text{НДР}}$ - рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

J^n - важливість роботи;

R - результативність роботи;

T - технічна складність виконання НДР;

$B_{\text{НДР}}$ - витрати на проведення результатів НДР;

n - показник використання результатів НДР.

$$K_{\text{НДР}} = \frac{3^2 \times 2 \times 1,5}{72,232 \times 0,284} = 1,31$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях є важливим складовим елементом при розробці програмного забезпечення. Одним із способів забезпечення охорони та безпеки праці є правильна організація робочого місця. Робоче місце, яке організовано згідно з стандартами безпеки та ергономіки робить процес роботи не тільки безпечнішим, але ще й зручнішим та ефективнішим.

У цьому розділі проаналізовані усі небезпечні та шкідливі фактори, які виникають в офісних приміщеннях обладнаних комп'ютерами та іншими електронними приладами. Також тут описані заходи з забезпечення санітарії, гігієни та безпеки, які було вжито для створення сприятливих умов для роботи працівників.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Робота проводиться у офісному приміщенні. Основними потенційними небезпеками при роботі у офісному приміщенні є такі небезпеки як:

- небезпека ураження електричним струмом, оскільки розробник під час проведення досліджень, увесь свій робочий час проводить за комп'ютером;
- небезпека ураження шкідливим випроміненням електричного та магнітного поля, яке виникає під час роботи моніторів на основі електронно-променевих трубок та системних блоків комп'ютера;
- небезпека перенавантаження органів зору, оскільки за 8 годин робочого часу користувач виконає понад 30000 поглядів на мерехтливий екран комп'ютера;

- небезпека виникнення пожежі, у зв'язку із порушенням правил протипожежної безпеки робітниками дослідницького центру, або у зв'язку з несправністю електричного устаткування;
- небезпека вплив недостатнього освітлення робочого місця на органи зору та на загальну продуктивність, через некоректно спроектовану систему освітлення або через її несправність;
- небезпека вплив шуму на органи слуху та загальний психоемоційний стан людини, який виникає через використання несправних або застарілих периферійних приладів, освітлювальної техніки, кондиціонерів;
- небезпека вплив на здоров'я, у зв'язку з неправильно спроектованої вентиляційної системою;
- виникнення перевантаження нерво-психічного характеру, які виникають у зв'язку з періодичними конфліктами з клієнтами та керівництвом під час вирішення робочих питань;
- небезпека виникнення механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату у наслідок не правильно спланованого робочого місця;
- виникнення небезпечних ситуацій через не коректні дії працівників у надзвичайних ситуаціях.

5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки

Приміщення конструкторського бюро, у якому працює співробітник, відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Дане приміщення, обладнане необхідним електричним устаткуванням, яке живиться від змінного струму 220В від мережі з заземленою нейтраллю

та відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання. За засобом захисту людини від ураження електричним струмом відповідає згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» І(стаціонарні комп'ютери,) та ІІ (освітлювальні прилади, кондиціонери, опалювальні пристрої, ноутбуки, сканери) класу захисту.

Для забезпечення електробезпеки на робочому місці було виконано такі групи заходів:

Конструктивні заходи.

Вони дозволяють за допомогою ізоляції струмопровідних частин (дротів) забезпечити захист від прямого дотику до струмопровідних частин.

Згідно з ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» для всіх приладів ІІ класу захисту було використано подвійну ізоляцію – електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції.

Згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок» приміщення конструкторського бюро відноситься до класу пожежонебезпечної зони П-Іа (приміщення, з твердими горючими речовинами), тому було використано ІР44 ступінь захисту ізоляції обладнання.

Також, ізоляція усіх електронних приладів була перевірена на цілісність. У ході перевірки ніяких дефектів не було виявлено.

Схемно-конструктивні заходи.

Даний тип заходів призначений для забезпечення захисту працівників від ураження електричним струмом при не навмисному дотику до металевих конструкцій, наприклад у разі аварії.

Для вирішення цієї проблеми, у офісному приміщенні конструкторського бюро приміщенні, згідно з ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» було виконано занулення.

Організаційні заходи.

Експлуатація електроприладів і електроустаткування проводилася згідно з НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі «ПБЕЕ») та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі «ПБЕЕС»).

Для забезпечення захисту від надлишкового випромінювання, напруженість електронних та магнітних полів була виміряна та не перевищила допустимі показники 80 В/м і 50 А/м відповідно з ГОСТ 12.1.006-84.

Для запобігання перенавантаження травм органів зору та кістково-м'язового апарату, кожні дві години проводилися 10 хвилинні перерви для відпочинку.

Най типовішою травмою при роботі за комп'ютером є тунельний синдром, який трапляється у наслідок тривалої роботи з мишею. Для уникнення появи тунельного синдрому були впроваджені такі заходи:

- клавіатуру було встановлено на оптимальній висоті – 70 см від підлоги;
- для роботи були обрані ергономічні і зручні клавіатура та миша;
- для роботи були обрані столи з можливістю регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури була встановлена 25 мм, кут підйому клавіатури – 10°);
- була обрана клавіатура з підставкою для рук;
- для роботи був обраний килимок для миші з захистом від тунельного синдрому (з спеціальним виступом, який забезпечує правильне положення кисті);
- робоче місце було обладнане стільцем з підлокітниками.

Також для того, щоб процес роботи був безпечний та ефективний робоче місце було спроектовано згідно з загальними ергономічними вимогами встановленими в ДСТУ ISO 9241-1:2003 «Ергономічні вимоги до роботи з відео терміналами в офісі. Частина 1. Загальні положення».

Було проведено планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні:

- робочі місця з ВДТ були розміщені на відстані 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ була встановлена в 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна була встановлена 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має був встановлений розміром 1 м.

5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд.

Природне і штучне освітлення» в приміщенні дослідницького центру було використано природне та штучне освітлення.

Для аналізу ефективності природного освітлення було проведено розрахунок.

Розміри приміщення: $5\text{ м} \times 7\text{ м} \times 2,5\text{ м}$ висвітлюється через бічні світлопройми і розташоване в 4-му поясі світлового клімату. Призначено для IV розряду зорових робіт.

У приміщенні знаходиться одне вікно розміром $7\text{ м} \times 1,42\text{ м}$, розташоване уздовж більшої стіни приміщення і орієнтовані на схід. Відстань від підлоги до підвіконня 1 м, відповідно висота щодо рівня робочої поверхні, який розташований на висоті 0,8 м від підлоги, становить 0,2 м. Відстань від вікна до розрахункової точки 3 м. Матеріал вікон – пустотілі світлопрозорі блоки, обрамлення сталеве, подвійні, відкриваються. Сонцезахисних пристроїв немає.

Нормоване значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) для четвертого світлового поясу, в якому розміщується Україна e_n^{IV} , розраховується у процентах за формулою:

$$e_{\text{н}}^{\text{IV}} = e_{\text{н}}^{\text{III}} \times m \times c$$

Де, $e_{\text{н}}^{\text{III}}$ – нормоване значення КПО для III світлового поясу, яке визначається по ДБН В.2.5-28-2006 (з огляду на розряд зорової роботи, дорівнює 1,4%),

m – коефіцієнт світлового клімату (для України-0,9);

c – коефіцієнт сонячності клімату (враховуючи 4-й пояс світлового клімату і розташування вікон, дорівнює 0,8).

Тоді нормоване значення КПО дорівнюватиме:

$$e_{\text{н}}^{\text{IV}} = 1,4 \times 0,9 \times 0,8 = 1,0\%$$

Фактичне значення коефіцієнта природного освітлення для досліджуваного приміщення можна визначити за формулою:

$$100 \times \frac{S_{\text{он}}}{S_{\text{п}}} = \frac{e \times h_{\text{з}} K_{\text{з}} \times K}{t \times r_1}$$

Звідки

$$e_{\text{ф}} = \frac{100 \times S_0 \times t \times r_1}{S_{\text{п}} \times h \times K_{\text{з}} \times K_{\text{з}}}$$

де, S_0 – площа всіх вікон у приміщенні, $S_0 = 7 \times 1,42 = 9,94 \text{ м}^2$

$S_{\text{п}}$ – площа підлоги приміщення $S_{\text{п}} = 5 \times 7 = 35 \text{ м}^2$

$$t = t_1 \times t_2 \times t_3 \times t_4 \times t_5$$

Де, t загальний коефіцієнт світло пропускання віконного отвору (складається з коефіцієнтів світло пропускання матеріалу, що враховують втрати світла в рамі світло прорізи, в несучих конструкціях і в сонцезахисних пристроях, а також втрати світла в захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями і при бічному освітленні $t_3 = t_4 = t_5 = 1$

$t_1 = 0,55$ – оскільки матеріал вікон – пустотілі світлопрозорі блоки;

$t_2 = 0,6$ – оскільки, обрамлення сталеві, подвійні відкриваються;

$$t = 0,55 \times 0,9 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,33$$

r_1 – коефіцієнт, який враховує підвищення КПО при бічному освітленні за рахунок світла, відбитого від поверхонь приміщення і подстільного шару, який прилягає до будівлі:

$$\frac{\text{глибина приміщення}}{\text{відстань від рівня робочої поверхні до верхньої частини вікна}} = 3,1$$

$$\frac{\text{відстань від розрахункової точки до вікна}}{\text{глибина приміщення}} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$\frac{\text{довжина приміщення}}{\text{глибина приміщення}} = \frac{7}{5} = 1,4$$

з огляду на це, а також на значення середньозваженого коефіцієнта відображення $t = 0,4$ (Для меблів середнього відтінку між темним і світлим тонами), приймемо $r_1 = 2$

h , світлова характеристика вікна, береться за таблицею, для розглянутого приміщення. У нашому випадку $h = 15$.

K_6 – коефіцієнт, який враховує затемнення вікон іншими будинками, якщо будинків немає, тоді $K_6 = 1$, а у нас саме такий випадок;

K_3 – коефіцієнт запасу приймається в межах від 1,3-1,5, для нашого випадку візьмемо значення 1,3.

Отже, фактичне значення коефіцієнта природного освітлення для досліджуваного приміщення дорівнюватиме:

$$e_{\Phi} = \frac{100 \times 9,94 \times 0,33 \times 2}{35 \times 15 \times 1,5 \times 1} = \frac{656,04}{787,5} = 0,83$$

Порівнюючи значення нормованого коефіцієнта природного освітлення для даного приміщення ($e_{\pi}^{IV} = 1,0\%$) та фактичне ($e_{\Phi} = 0,83\%$) було зроблено висновок, що додаткові заходи щодо поліпшення природного освітлення потрібні.

Штучне освітлення в приміщенні було здійснено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в

зоні розміщення документів становить 400 лк. У якості джерел штучного освітлення були використані люмінесцентні лампи типу ЛБ.

Показники мікроклімату в офісних приміщеннях відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень».

У приміщення конструкторського бюро були встановлені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

у холодний період року: температура 21-23 гр. цельс; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

у теплий період року: температура 22-24 гр. цельс.; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Оптимальні рівні позитивних (n+) і негативних (n-) іонів у повітрі приміщення з ПК були про нормовані згідно ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становлять: $n+ = 1500-30000$ (шт. на 1см^3); $n- = 3000-5000$ (шт. на 1см^3).

Підтримка оптимального рівня легких позитивних і негативних аерофонів у повітрі на робочих місцях було забезпечено за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

Дотримання вимог цих документів було досягнуто оснащенням приміщення конструкторського бюро пристроями кондиціонування і вентиляції, дезодорації повітря, опалювання згідно вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у приміщення були про нормовані згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Зниження рівня шуму в приміщенні було здійснено за допомогою: використання сучасного обладнання;

МФУ, принтери та різноманітного устаткування колективного користування були встановлені на значній відстані від більшості робочих місць працівників;

- ПК були обладнані блоками живлення з вентиляторами на гумових підвісках.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Закон України «Про пожежну безпеку» визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Клас пожежі у офісному приміщенні (згідно із ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, пластмаси, папір) визначається як клас А. Категорія приміщення (згідно із НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою») – визначається як категорії Д.

Було визначено тип та розраховано кількість первинних засобів пожегасіння (згідно із ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – для адміністративного приміщення площею **35 м²** слід застосовувати 2 порошкових вогнегасники типу ВП–5(НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»).

Крім цього офісне приміщення було обладнане автоматичними пожежними сповіщувачами моделі ДТЛ, що реагують на підвищення температури, дим, полум'я.

Меблі та були розміщені так, щоб забезпечити вільний евакуаційний прохід розміром 1,5 м до виходу з приміщення. В міру накопичення горючих відходів (використаного паперу тощо), а також після закінчення роботи всі відходи було прибрано у спеціально відведені сміттє збірники.

Документи, папір та інші горючі матеріали слід зберігатися на відстані, 1,0 м — від електрощитів, електрокабелів, проводів; 0,5 м — від світильників; 0,25 м — від приладів опалення.

Було впроваджене постійне освітлення електричним світлом шляхів евакуації, які не мають природного освітлення.

Електрощити, групові електрощити повинні були оснащені схемами підключення споживачів з пояснювальними написами і вказаним значенням номінального струму апарата захисту (плавкої вставки).

Пожежні сповіщувачі функціонували цілодобово і постійно утримувалися в чистоті. До них має був забезпечений вільний доступ. Відстань від складованих матеріалів і устаткування до сповіщувачів повинна становити 0,6 м.

Усі засоби протипожежного захисту утримувалися у справному стані. Для всіх працівників був проведений інструктаж для того, щоб вони навчилися користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та внутрішніми пожежними кранами та знали місця їх розташування. Відстань від найвіддаленішого місця в офісному приміщенні центру до найближчого вогнегасника 5 м.

Кожного дня, у всіх, незалежно від призначення, приміщеннях, які після закінчення роботи замикаються і не контролюються черговим персоналом, з усіх електроустановок та електроприладів, а також з мереж їх живлення відключалася напруга (за винятком чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок).

5.5 Організація і проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт

Організація і проведення рятувальних та інших невідкладних робіт полягає у виконанні заходів, передбачених чинним законодавством з питань

ліквідації наслідків стихійного лиха, аварій і катастроф, епідемій і епізоотій, що створюють загрозу життю і здоров'ю населення. Для організації і проведення рятувальних та інших аварійно-невідкладних робіт під час ліквідації наслідків стихійних лих, аварій, катастроф, епідемій, що створюють загрозу життю і здоров'ю населення створюються формування цивільної оборони. До проведення таких робіт залучаються: невоєнізовані формування ЦО, медичні організації та військові частини і підрозділи.

Для проведення рятувальних та невідкладних аварійних робіт необхідно:

- завчасно спланувати дії формувань цивільної оборони як при загрозі нападу так і під час проведення рятувальних та невідкладних аварійних робіт;
- перевірити та уточнити плани цивільної оборони на навчаннях, що проводяться на об'єктах;
- організувати з робітників та службовців, студентів формування цивільної оборони та підготувати їх для роботи в осередках ураження;
- оснастити формування цивільної оборони індивідуальними засобами захисту, приладами, майном, технікою;
- вивести в найкоротші строки формування цивільної оборони, створені в містах, в заміську зону, розмістити їх в завчасно намічених районах й привести в готовність до проведення рятувальних робіт;
- організувати управління та керівництво формуваннями цивільної оборони при проведенні рятувальних робіт.

До заходів, що необхідні під час проведення рятувальних робіт відносять: розвідка маршрутів для формувань ЦО, локалізацію та гасіння пожеж, пошук і рятування людей з-під завалів та зруйнованих захисних споруд, надання першої медичної допомоги та евакуацію потерпілих, санобробку людей та знезараження їх одягу, знезараження місцевості, споруд, техніки.

Під невідкладними роботами в осередках ураження розуміють:

- локалізація аварій;

- ліквідація або укріплення аварійних споруд;
- прокладання шляхів на заражених територіях і проїздів у завалах;
- знешкодження боєприпасів, вогне- та вибухонебезпечних предметів;
- відновлення та ремонт пошкоджених захисних споруд.

Рятувальні роботи в закладі (установі) поділяють на два етапи:

- перший етап триває з моменту отримання сигналу про небезпеку до прибуття спеціалізованих формувань цивільної оборони;
- другий етап - від прибуття формувань цивільної оборони до виконання ними поставлених завдань (вивезення (виведення) членів колективу в безпечну зону, евакуацію поранених у лікувальні заклади).

На першому етапі рятувальні роботи організовує начальник цивільної оборони закладу чи установи, а виконує їх увесь колектив разом із невоєнізованими формуваннями цього закладу.

До складу невоєнізованих формувань входять такі групи, як група зв'язку, група із забезпечення громадського порядку, група протипожежної служби, група медичної допомоги, група протирадіаційного та протихімічного захисту

Група зв'язку складається з керівника групи та помічників (черговий біля телефону та посильні). Завдання групи - оповіщення членів колективу про загрозу виникнення надзвичайної ситуації, передача сигналу структурам цивільної оборони міста (району), підтримка засобів зв'язку у стані постійної готовності, забезпечення штабу цивільної оборони навчального закладу засобами зв'язку.

Група із забезпечення громадського порядку, керівник - працівник установи, який відповідає за її охорону. Завдання групи: забезпечити охорону закладу, підтримати порядок у випадках надзвичайних ситуацій, надання допомоги керівництву під час евакуації.

Група протипожежної служби: бере участь у розробці протипожежних профілактичних засобів, здійснює контроль за їх виконанням, забезпечує по-

стійну готовність до використання засобів пожежогасіння, локалізує та гасить пожежу, надає допомогу у проведенні спеціальної обробки території.

Група медичної допомоги: організовується на базі медичного пункту закладу чи установи. Завдання групи: організовує і проводить санітарно-гігієнічні та профілактичні заходи, надає медичну допомогу ураженим, допомагає їх евакуації до лікарень, проводить часткову санітарну обробку уражених.

Група протирадіаційного та протихімічного захисту, організовує видачу засобів індивідуального захисту, здійснює контроль за радіаційною та хімічною ситуацією у закладі та на прилеглий території, за станом сховищ та укриттів, бере участь у заходах з ліквідації наслідків радіаційного та хімічного зараження.

При ліквідації наслідків НС виникає необхідність в організації рухомих пунктів харчування, речового і продовольчого забезпечення.

Підрозділи громадського харчування (пересувні пункти харчування ЦО) призначені для забезпечення гарячим харчуванням особового складу формувань в районах розміщення та при проведенні рятувальних і невідкладних аварійних робіт, а також потерпілого населення в загонах першої допомоги. Таким пунктом керує начальник пункту. При пункті створюються три ланки.

З них дві ланки приготування та роздачі їжі (командир ланки, старший повар, повари (3 чол.), робітники (2 чол.), водій). До ланок прикріплюються по одному вантажному автомобілю та по одній пересувній кухні (котлові). Можливості пересувного пункту харчування за 10 годин роботи: приготувати і роздати їжу на 1200 чол.

Ланка забезпечення (командир, кладовщик-дозиметрист, бухгалтер, робітники (4 чол.), водії (3 чол.) До ланки прикріплюється по одному вантажному автомобілю, авторефрижератору та автоводоцистерні.

Підрозділи торгівлі продовольчими товарами (пересувні пункти продовольчого постачання ЦО) призначені для забезпечення особового складу фо-

рмувань продуктами харчування (сухим пайком) при відсутності можливості приготування гарячої їжі.

Пересувним пунктом керує його начальник. На пункт призначається кладовщик. При пункті організовується декілька ланок (5) фасування та роздачі сухих пайків (командир ланки, дозиметрист, фасувальники-роздатчики (3), водій) До пункту прикріплюється вантажний автомобіль з причепом. Орієнтовні можливості пункту за 10 годин роботи: скомплектувати та видати 5000 сухих пайків.

Підрозділи торгівлі промисловими товарами (пересувні пункти речового постачання ЦО) призначені для забезпечення санітарних пунктів та загонів першої медичної допомоги одягом, білизною та взуттям. Пересувним пунктом керує його начальник. На пункт призначається кладовщик. При пункті організовується декілька ланок (5) речового постачання (командир ланки, дозиметрист, роздатчики (4), водій) . До пункту прикріплюється вантажний автомобіль з причепом.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання роботи розроблено способи створення моделей для дослідження теплових режимів блоків з природним і примусовим охолодженням комп'ютерними засобами інженерного аналізу. Це дозволило дослідити масогабаритні і теплові показники та розробити моделі для оптимізації систем охолодження радіоелектронних засобів. На основі цих досліджень розроблені моделі та алгоритми проектування систем охолодження з урахуванням масогабаритних обмежень.

Розроблено моделі для дослідження теплових режимів блоків з природним повітряним охолодженням засобами інженерного аналізу. Для цього проведено аналіз конструкцій блоків і розроблено їх геометричні моделі. Ці моделі використовуються при утворенні теплових моделей, в яких враховуються тепловідвід в навколишнє середовище та організація протікання теплових потоків в блоці. Враховано також способи організації обчислень.

При розробці геометричних моделей враховувалось, що блоки повинні мати прості форми, які утворюються переважно із простих геометричних фігур: паралелепіпедів, елементів циліндричних, конічних та сферичних поверхонь. Перевага надається зварним каркасним конструкціям з алюмінію кутового, квадратного або круглого профілю. Такі конструкції мають відносно невелику вагу та здатні забезпечити достатню надійність закріплення функціональних вузлів та інших елементів конструкції в блоці. Ефективність теплообміну залежить від місця розміщення елементів в об'ємі блока. Так при вертикальному розміщенні елементів конструкції повітряному потоку ніщо не перешкоджає і тепловий режим приладу значно покращується, тому перевага надається саме таким блокам.

Коефіцієнт перфорації блоку радіоелектронної апаратури в значній мірі залежить від форми вентиляційних отворів та варіанту їх розташування. Найменший показник коефіцієнту перфорації спостерігається при прямому

розташуванні отворів круглої форми, що пояснюється великою площею зазорів між отворами. Підвищення значення коефіцієнту перфорації можливе вибором перфораційних отворів квадратної або прямокутної форми та розташуванням отворів у зміщеному(шаховому) порядку та вибором форми отворів з можливістю більш щільного розташування.

Для проведення дослідження теплових режимів блоків радіоелектронних апаратів з природним повітряним охолодженням були створені геометричні та теплові моделі цих блоків. Підвищення точності моделювання теплових процесів досягалося створенням домену специфічної форми, яка враховує габарити блока та напрямки потоків нагрітого повітря, а також побудою розрахункової сітки в ручному режимі. Такі підходи дозволили підвищити точність моделювання в кілька разів без збільшення витрат часу, порівняно з заданими по замовчанню налаштуваннями програми.

Системи примусового повітряного охолодження використовуються в різних за габаритами та умовами експлуатації системах, наприклад, в мережевих шафах, в складних теплонавантажених системах, як фазовані антенні ґрати, підсилювачі надвисоких частот і радіолокаційних станцій. Примусове повітряне охолодження є найбільш поширеним способом охолодження. Однак режим примусового повітряного охолодження вимагає застосування в конструкції радіоелектронної апаратури додаткової системи забезпечення теплового режиму, що призводить до збільшення об'єму, маси та енергоспоживання.

Під примусовим повітряним охолодженням розуміють охолодження потоком повітря, обсяг і швидкість руху якого визначаються спеціальними пристроями. Таким чином, можуть охолоджуватися як безпосередньо частини апаратів, так і який-небудь проміжний теплоносій. Загальне примусове повітряне охолодження доцільно для пристроїв, в яких велика частина елементів конструкції має приблизно однакове теплове навантаження.

Всі способи примусового повітряного охолодження мають ряд переваг і недоліків. Системи охолодження вибираються індивідуально для кожного

приладу, враховуючи умови його експлуатації і габаритні розміри. Щоб правильно вибрати й оцінити систему охолодження, необхідно провести дослідження та макетування об'єкта. На етапі досліджень використовується комп'ютерне моделювання теплових режимів в системі інженерного аналізу, щоб зменшити кількість інженерних помилок і оптимізувати конструкцію системи охолодження.

Розроблено теплову модель оребреного каналу. Модель являє собою канал між блоками, які мають оребрення. Оскільки в конструкціях касетного типу часто використовується щільне розміщення однотипних блоків з ребрами, для проведення дослідження можна використовувати спрощену теплову модель оребреного каналу, яка складається з оребреного каналу та вентилятора. При побудові моделі було прийнято ряд допущень, які дозволяють проводити точний аналіз теплових режимів для каналів та досліджувати залежність максимального значення температури тепловідведення при зміні розмірів оребрення.

Дослідження теплових характеристик показало, що перегрів елементів конструкції блоків суттєво залежать від відстані між платами, ширини направляючих, співвідношення сторін плат та коефіцієнта перфорації блока. Із міжплатних характеристик видно, що максимальне значення температури в досліджуваному блоці спостерігається в верхній частині середньої плати і досягає $79,6^{\circ}\text{C}$ при відстані між платами 5 мм. Тепловий режим блока покращується при збільшенні цієї відстані. Можливе зменшення перепадів температур на 40 %.

Результати дослідження теплових конфігураційних характеристик показали, що зменшення висоти друкованих плат дозволяє зменшити їх перегрів до 10 % в порівнянні з квадратною платою. Однак це призводить до збільшення масогабаритних показників блока. У зв'язку з цим при конструюванні блоків радіоелектронної апаратури рекомендовано використовувати коефіцієнти співвідношення сторін плат $\zeta < 1$.

Збільшенням ширини направляючих можливо зменшити перепади температур в блоці на 25 % відносно мінімальної компоновки, якій відповідає мінімально допустима ширина направляючої $b_H = 5$ мм. Однак, разом зі збільшенням цього параметра відбувається різке зростання маси та об'єму блока, що призводить до завищення масогабаритних характеристик.

Збільшення площі перфорації стінок і кришок блока може на 60 % зменшити перепади температур порівняно з герметичним корпусом. Ці значення досягаються при використанні як верхньої, так і бокової перфорації та значеннях коефіцієнта перфорації $K_{\Pi} = 0,4 - 0,6$. Збільшення коефіцієнта перфорації вище цих значень обмежено технологічно.

Було проведено дослідження впливу конструктивних параметрів каналу при примусовому повітряному охолодженні на тепловий опір. Змінювалися, кількість ребер, ширина та довжина ребра. Дослідження показало, що кількість ребер зменшує тепловий опір каналу більш ніж у два рази, найкращий тепловий режим спостерігається при $n = 15$ до $n = 18$. Значення ширини ребра $d_r \geq 2$ мм, призводить до різкого підвищення теплового опору та погіршення теплового режиму каналу. Збільшення довжини ребра каналу позитивно впливає на тепловий опір, чим більше значення l_r тим менше тепловий опір. Але збільшення конструктивних параметрів призводить до значного погіршення масогабаритних показників, тому актуальним є проведення оптимізаційних процедур, для знаходження оптимальних параметрів конструкції каналу.

Результати дослідження можуть бути використані при розробці математичних моделей для оптимізації масогабаритних характеристик блоків радіоелектронної апаратури з природним та примусовим повітряним охолодженням за умови забезпечення теплових режимів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Борисов, Ю.И.** Динамика радиоэлектроники [Текст]/ Ю.И. Борисов. – М.: Техно сфера, 2007. – 403с.
2. **Григорьян, С.Г.** Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники [Текст]/ С. Г. Григорьян. – М.: Феникс, 2007. – 304с.
3. **Ненашев, А.П.** Конструирование радиоэлектронных средств [Текст] / А.П. Ненашев. – М.: Высш. шк., 1990. – 432с.
4. **Борисов, В.Ф.** Конструирование радиоэлектронных средств [Текст] / О.П. Лаврёнов, А.С. Назаров, А.Н. Чекмарёв. – М.: МАИ, 1996. – 380с.
5. **Дульнев, Р.Н.** Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст] / Р.Н. Дульнев. – М.: Высш. шк., 1984. – 247с.
6. **Роткоп, Л.Л.** Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Л.Л. Роткоп, Ю.Е. Спокойный. – М.: Советское радио, 1976. – 232с.
7. **Алямовский, А.А.** Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation [Текст] / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464с.
8. **Гончаров, П.С.** NX для конструктора-машиностроителя [Текст] / П.С. Гончаров, М.Ю. Ельцов, С.Б. Корщиков и др. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 504с.
9. **Верхопятницкий, П.Д.** Справочник по модульному конструированию РЭА[Текст] / П.Д. Верхопятницкий, В.С. Латиський. – Л.: Судостроение, 1983. – 232с.
10. **Гелль, П.П.** Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры[Текст] / П.П. Гелль, Н.К. Иванов-Есипович. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 536с.
11. **Гелль, П.П.** Конструирование радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / П.П. Гелль, Н.К. Иванов-Есипович. – М.: Энергия, 1972. – 232с.

12. **Парфенов, Е.М.** Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная. – М.: Радио и связь, 1989. – 272с.
13. **Билибин, К.И.** Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов [Текст] / **К.И. Билибин, А.И. Власов.** – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528с.
14. **Овсищев, П.И.** Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / П.И. Овсищев, Ю.В. Голованов. – М.: Радио и связь, 1988. – 232с.
15. **Преснухин, Л.Н.** Конструирование электронных вычислительных машин и систем [Текст] / Л.Н. Преснухин, В.А. Шахнов. – М.: Высшая школа, 1986. – 512с.
16. **Поляков, К.П.** Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / К.П. Поляков. – М.: Радио и связь, 1982. – 240 с.
17. **Чернышев, А.Л.** Обеспечение тепловых режимов изделий электронной техники [Текст] / А. Л. Чернышев. – М.: Энергия, 1980. – 216с.
18. **Лутченков, Л. С.** Автоматизированное проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств [Текст] / Л. С. Лутченков. – М.: Радио и связь, 1991. – 204с.
19. **Резинский, С.Р.** Конструирование силовых полупроводниковых преобразовательных агрегатов [Текст] / С.Р. Резинский, В.С. Лабковский, И.Х. Евзеров, И.И. Фейгельман, В.М. Венделанд. – М.: «Энергия», 1973. – 288с.
20. **Вишневский, А.И.** Силовые ионные и полупроводниковые приборы: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.И.Вишневский, В.С.Руденко, А.П.Платонов. – М.: Высш. шк., 1975. – 343с.