

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Проектування та експлуатації електронних апаратів

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма "Радіоелектронні апарати та засоби"
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри ПЕЕА
Хорошайло Ю.Є. _____
(підпис)
« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Махоніну Віктору Геннадійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу окремих факторів на характеристики надійності комп'ютерних систем контролю та діагностики. Теплові режими
затверджена наказом по університету від 27 10 2023 р. № 1251 Ст _____
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 11 грудня 2023 р.
3. Вихідні дані до роботи Типи досліджуваних корпусів пристроїв комп'ютерних систем: герметичний та перфорований. Характеристики, які потрібно визначити в процесі теплових розрахунків: температура (перегрів) корпусу; температура (перегрів) зони; температура (перегрів) елемента
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Аналіз об'єкта та предмета дослідження. Постановка задачі. Аналіз існуючих алгоритмів розрахунків теплових режимів. Розробка методики розрахунків. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення розрахунків. Визначення впливу теплових режимів на характеристики надійності.
5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____
Демонстраційний матеріал представлений у форматі мультимедіа презентації
6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз особливостей об'єкта і предмета дослідження	06.09.23	виконано
2	Постановка задачі	15.09.23	виконано
3	Аналіз існуючих алгоритмів розрахунків теплових режимів	01.10.23	виконано
4	Розробка методики розрахунків	15.10.23	виконано
5	Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення розрахунків	01.11.23	виконано
6	Аналіз можливостей мов програмування	15.11.23	виконано
7	Вибір середовища розробки і написання програми	22.11.23	виконано
8	Визначення впливу теплових режимів роботи електронних блоків комп'ютерних	30.11.23	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	08.12.23	виконано
10	Підготовка презентаційного матеріалу	11.12.23	виконано

Дата видачі завдання 1 вересня 2023 р.

Студент _____ Махонін В.Г.
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Хорошайло Ю.Є.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної магістерської роботи: Пояснювальна записка до атестаційної роботи магістра: 97 с., 5 табл., 19 рис., 24 джерела.

Ключові слова: КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА, НАДІЙНІСТЬ, КОРПУС ПРИСТРОЮ, ТЕМПЕРАТУРА, АЛГОРИТМ, МОВА ПРОГРАМУВАННЯ, ПРОГРАМА.

Об'єкт дослідження – теплові процеси в блоках комп'ютерних систем.

Предмет дослідження – алгоритмічне і програмне забезпечення розрахунків параметрів теплових режимів роботи комп'ютерних систем.

Мета роботи – оцінка впливу теплових режимів роботи на надійність комп'ютерних систем контролю та діагностики за допомогою розробленого програмного забезпечення за удосконаленою методикою.

Методи дослідження – аналітичне і комп'ютерне моделювання.

Проведено аналітичний огляд впливу різних чинників на параметри теплових режимів роботи елементів і пристроїв комп'ютерних систем і методів їх розрахунків. Розглянуто основні етапи їх алгоритмізації та програмування.

Результати роботи: удосконалена методика розрахунку параметрів теплових режимів роботи та розроблені алгоритм і програма цих розрахунків, які підвищують надійність комп'ютерних систем на стадії проектування.

Практична значимість: отримана програма розрахунків дозволяє визначити параметри теплових режимів роботи комп'ютерних систем з підвищеною точністю і більш поширеному діапазоні температур.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні і конструюванні окремих пристроїв в комп'ютерних системах.

ABSTRACT

Volume Qualification master's work: pages 97, figures 19, tables 5, references 24.

Keywords: computer systems, RELIABILITY, enclosure, temperature, algorithms, programming language program.

Object of study – thermal processes in blocks of computer systems.

Subject of research – algorithms and software parameters calculation of thermal modes of computer systems.

Purpose – to assess the impact of thermal conditions on the reliability of computer systems monitoring and diagnostics via developed software for an advanced technique.

Methods - analytical and computer simulation.

An analytical review of the impact of various factors on parameters of thermal management components and devices of computer systems and methods for their calculations. The main stages of algorithms and programming.

The results: improved method of calculating the parameters of thermal modes and algorithms and program these calculations that will boost the reliability of computer systems at the design stage.

The practical significance: payments received program parameters to determine the thermal management of computer systems with high precision and more widely temperatures.

The results can be used in the design and construction of individual devices in computer systems.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналіз об'єкта і предмета дослідження та методів їх розрахунків.....	7
1.1 Особливості та властивості комп'ютерних систем контролю та діагностики і теплові режими їх роботи.....	7
1.1.1 Особливості комп'ютерних систем, як об'єктів дослідження.....	7
1.1.2 Основні показники надійності комп'ютерних систем та їх забезпечення на різних етапах.....	11
1.1.3 Конструктивні особливості електронних блоків комп'ютерних систем.....	22
1.1.4 Вплив різних чинників на параметри теплових режимів роботи комп'ютерних систем.....	25
1.1.5 Основна мета магістерської роботи і шляхи її реалізації.....	35
1.2 Аналіз існуючих методів теплових розрахунків блоків і вузлів комп'ютерних систем.....	37
1.2.1 Теплові режими комп'ютерних систем, як параметричні функції випадкових процесів.....	37
1.2.2 Аналіз методів розрахунків теплових режимів роботи комп'ютерних систем.....	43
1.2.3 Вплив зміни температури на властивості комп'ютерних систем.....	52
1.2.4 Основні методи розрахунку.....	56
1.3 Основні існуючі алгоритми розрахунків.....	63
1.4 Висновки до першого розділу.....	67

2 Розробка програмного забезпечення та оцінка впливу теплових режимів роботи на надійність комп'ютерних систем контролю та діагностики	
2.1 Розробка основних вимог до методик та алгоритмів теплових розрахунків.....	68
2.2 Розробка методики розрахунків.....	69
2.2.1 Розрахунок теплового режиму блоку в герметичному корпусі.....	69
2.2.2 Тепловий режим блоку в перфорованому корпусі.....	72
2.3 Розробка алгоритму розрахунків.....	73
2.3.1 Загальний підхід.....	73
2.3.2 Розрахунок теплового режиму в герметичному корпусі.....	74
2.3.3 Перевірка виконання умов теплового режиму й розрахунок режиму роботи пристрою в перфорованому корпусі.....	81
2.4 Вибір та обґрунтування мови програмування і написання програми.....	82
2.4.1 Вимоги до програмних засобів.....	82
2.4.2 Аналіз можливостей мов програмування, вибір середовища розробки і написання програми.....	82
2.5 Визначення впливу теплових режимів роботи електронних блоків комп'ютерних систем контролю та діагностики на характеристики їх надійності	83
2.6 Висновки до другого розділу.....	90
Висновки.....	92

ВСТУП

На надійність роботи комп'ютерних систем контролю та діагностики суттєво впливають умови їх роботи. В свою чергу, існує багато чинників, які впливають на ці умови. Тому дуже важливо врахувати умови, в яких працюють комп'ютерні системи і чинники які впливають на ці умови. Це можливо зробити шляхом побудови оптимальних алгоритмів і програм розрахунків, які в свою чергу, будуються на оптимально обраних методиках, математичних моделях та інше.

Комп'ютерні системи за умовами експлуатації діляться на стаціонарні й бортові. Стаціонарні - це наземні системи, експлуатовані у всіляких умовах залежно від цільового призначення. Вони можуть установлюватися в спеціально обладнаних приміщеннях, експлуатуватися в умовах цеху, лабораторії, нарешті, у домашніх умовах.

Бортові системи установлюються на різних рухливих об'єктах, наприклад літаках, ракетах, кораблях, автомашинах і т.д. Умови експлуатації бортових комп'ютерних систем можуть бути різними. Однак вони звичайно більше важкі, чим стаціонарних.

Розрізняють зовнішні й внутрішні фактори, що впливають на роботу комп'ютерних систем. Зовнішні - це механічні, кліматичні, радіаційні й інші фактори, які ведуть до передчасних втрат якісних показників комп'ютерів, погіршенню їхніх експлуатаційних характеристик, передчасним регулюванням, ремонтам і т.д.

Внутрішні фактори пов'язані з фізико-хімічними змінами властивостей матеріалів, які приведуть до передчасного зношування й старіння, втраті ізоляційних або антикорозійних властивостей, а також до втрати естетичних показників комп'ютерних систем.

Попередня оцінка умов експлуатації й своєчасне визначення рівня, інтенсивності й тривалості впливів дозволяють конструкторові прийняти необхідні захисні міри в процесі розробки комп'ютерних систем, їхнього

виготовлення й експлуатації, а також виробити вимоги, пропоновані до захищеності цих систем від різного виду впливів, і розробити заходи щодо профілактики і їхнього ремонту.

Одним з істотних факторів, що впливають на надійність комп'ютерних систем, є вплив температури.

Маючи математичну модель, або математичний опис процесів температурних режимів, які характерні для роботи пристроїв комп'ютерних систем, можна побудувати алгоритми обчислення особливостей теплових режимів роботи цих систем.

Актуальність теми цієї магістерської роботи полягає в тому, що для пристроїв комп'ютерних систем контролю та діагностики, які експлуатуються в різних умовах, дуже важливо урахувати вплив різних чинників, в тому числі і температурних режимів роботи, на надійність пристроїв, що надходять до складу цих систем.

Мета цієї роботи - оцінка впливу теплових режимів роботи на надійність комп'ютерних систем контролю та діагностики за допомогою розробленого програмного забезпечення за удосконаленою методикою.

Результати роботи також можуть бути використані при проектуванні і конструюванні окремих пристроїв комп'ютерних систем.

1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА І ПРЕДМЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДІВ ЇХ РОЗРАХУНКІВ

1.1 Особливості та властивості комп'ютерних систем контролю та діагностики і теплові режими їх роботи

1.1.1 Особливості комп'ютерних систем, як об'єкта дослідження

Комп'ютерні систем контролю та діагностики (КСКД) є одним з багатьох різновидів величезної галузі радіоелектронної апаратури – комп'ютерних систем. Найбільш коротке і чітке визначення сучасної комп'ютерної системи (КС) наведено Е. Таненбаумам в книзі [1]. Згідно цьому визначенню комп'ютерна система – це пов'язані між собою процесори, модулі пам'яті, пристрої вводу-виводу та інші зовнішні пристрої, що мають багаторівневу організацію і об'єднані в загальну систему для досягнення конкретної мети [1]. Відмінною особливістю КСКД є наявність датчиків.

Незважаючи на велике розходження КС мають багато загального як по використовуваній елементній базі, так і по сукупності вимог, пропонованих до їхніх якісних показників (наприклад, надійності, захищеності, бистроті, обсягу пам'яті й т.д.), що дозволяє використати при конструюванні різних видів КС загальний математичний апарат аналізу й оптимізації.

Комп'ютерні системи за умовами експлуатації діляться на стаціонарні й бортові. Стаціонарні - це наземні КС, експлуатовані у всіляких умовах залежно від цільового призначення. Вони можуть установлюватися в спеціально обладнаних приміщеннях, експлуатуватися в умовах цеху, лабораторії, нарешті, у домашніх умовах, якщо це побутові персональні ОМ.

Бортові КС установлюються на різних рухливих об'єктах, наприклад літаках, ракетах, кораблях, автомашинах і т.д. Умови експлуатації бортових

КС можуть бути різними. Однак вони звичайно більше важкі, чим стаціонарних КС.

Розрізняють зовнішні й внутрішні фактори, що впливають на роботу КС. Зовнішні - це механічні, кліматичні, радіаційні й інші фактори, які ведуть до передчасних втрат якісних показників КС, погіршенню їхніх експлуатаційних характеристик, передчасним регулюванням, ремонтам і т.д.

Внутрішні фактори пов'язані з фізико-хімічними змінами властивостей матеріалів, які приведуть до передчасного зношування й старіння, втраті ізоляційних або антикорозійних властивостей, а також до втрати естетичних показників КС.

Попередня оцінка умов експлуатації й своєчасне визначення рівня, інтенсивності й тривалості впливів дозволяють конструкторові прийняти необхідні захисні міри в процесі розробки КС, їхнього виготовлення й експлуатації, а також виробити вимоги, пропонувані до захищеності КС від різного виду впливів, і розробити заходу щодо профілактики і їхнього ремонту.

Починаючи з кінця минулого століття стали швидкими темпами розвиватися й впроваджуватися КС четвертого, а в наш часі п'ятого покоління, основу елементної бази яких становлять більший і надвеликі ІМС (БІС і СБІС). Ця елементна база характеризується тим, що вона має високий ступінь інтеграції, що дозволяє на одному напівпровідниковому кристалі створювати функціональні вузли, що містять багато тисяч елементарних перетворювачів інформації зі значним зменшенням числа зовнішніх зв'язків, що доводяться на один елементарний перетворювач інформації. Крім того, БІС мають загальний захист від зовнішніх впливів (загальний корпус), що підвищує надійність БІС.

Габаритні розміри й маса КС, що виготовлені на базі УМС четвертого покоління зменшилися приблизно в п'ять разів у порівнянні з попередніми.

Стала можливим побудова мікропроцесорів, тобто що перебудовують ІМС, що дозволяють компонувати пристрою різного призначення на тих самих ІМС із застосуванням відповідного програмування.

Люба КС це - сукупність апаратурних і програмних засобів. Складність КС як об'єкта експлуатації збільшується тим, що сучасна КС - це нероздільний комплекс апаратур і програмних засобів. Програмні засоби в тісній взаємодії з апаратурами управляють обчислювальним процесом, процесами взаємодії ЕОМ з виконавчими пристроями, датчиками та ін.

Операційні системи сучасних КС без перебільшення можна вважати найбільше «інтелектуальними» штучними системами, коли-небудь, створеними людиною. Експлуатаційне обслуговування КС повинне охоплювати в сукупності її апаратурні й програмні засоби.

КС - універсальний перетворювач інформації. На відміну від машин, що здійснюють перетворення видів енергії, складу або форми матеріалу, КС має справу з перетвореннями інформації. Це змушує ввести для визначення стану КС поряд з поняттям працездатності для виконання передбачених технічними умовами, поняття вірності або вірогідності у функціонуванні КС, що визначається ступенем безпомилковості роботи системи.

КС - людино-машинна система. Навіть у найпростіших режимах роботи КС виступає як людино-машинна система, у якій оператор певним чином взаємодіє й спілкується з КС (точніше, з її операційною системою)

Неправильні дії операторів і користувачів можуть викликати ненормальності (причому часто важко виявити і усунути) у функціонуванні КС.

КС - об'єкт, що функціонує в умовах дії випадкових факторів. Випадковими, заздалегідь не передбаченими є моменти звернення до КС із запитами на виконання тих або інших програм, необхідні для виконання запитів ресурси КС (час роботи процесора, каналів, інших пристроїв,

необхідні ємності пам'яті), траєкторії проходження запитів по обчислювальній системі (використовуване запитами встаткування) і, нарешті, можливі порушення нормального функціонування КС через виникнення різних несправностей.

КС можна класифікувати по характері обслуговування, що визначається їхнім призначенням і умовами експлуатації. КС може бути відновлювана або не відновлювана. КС вважається відновлюваним об'єктом, якщо під час експлуатації можна виконувати ремонт по усуненню виникаючих несправностей. У протилежному випадку система є не відновлюваним об'єктом.

КС вважається обслуговуваним об'єктом, якщо допускається періодичне проведення профілактичних випробувань із метою виявлення, заміни або підрегулювання елементів і вузлів, параметри яких близькі до гранично припустимого. У протилежному випадку КС є не обслуговуваним об'єктом.

Засоби КС у процесі експлуатації піддаються випадковим впливам у вигляді механічних, кліматичних, радіаційних і інших впливів включаючи зношування й старіння. Ці впливи викликають випадкові зміни параметрів КС. Отже КС як об'єкт досліджень повинні розглядатися з урахуванням випадкового характеру їхніх параметрів, а це означає що математичний апарат аналізу й оптимізації КС повинен урахувати випадкову природу розглянутих явищ. Що стосується детермінованого підходу до дослідження КС, то він використовується для одержання усереднених характеристик досліджуваних об'єктів.

Всі елементи, вузли, блоки й пристрої, що підходять до КС, повинні вирішувати своє головне завдання - забезпечувати функціонування з високою якістю й заданою надійністю.

1.1.2 Основні показники надійності комп'ютерних систем та їх забезпечення на різних етапах

1.1.2.1 Показники надійності

Надійність - це властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах при відповідних режимах і умовах експлуатації, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання й транспортування.

У теорії надійності подією, що полягає у втраті працездатності виробом, є відмова. Розрізняють наступні види відмов: раптовий, що характеризується миттєвою втратою працездатності, обумовленої поломками, різким зміною властивостей матеріалів, пробоями діелектриків і т.д. За настанням цієї відмови і його розвитком спостереження не встановлюється; поступовий, пов'язаний з повільною зміною параметрів виробу, властивостей матеріалів, втоми й т.д. Розвиток цієї відмови може бути спостережувано; незалежний, тобто не обумовлений ушкодженням інших елементів на противагу залежній відмові, що виникає через відмови інших елементів; перемежований - це багаторазово повторювана відмова. Він викликається змінним контактом або роботою електронних пристроїв у критичних режимах.

Крім перерахованих, іноді розрізняють відмови за умовами їхнього виникнення, наприклад експлуатаційний, конструкційний, виробничий і т.д.

Всі відмови є випадковими в силу випадкової природи їхнього виникнення.

Зупинимось на властивостях надійності.

а) Безвідмовність - це властивість об'єкта безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого наробітку. Вона характеризується рядом показників, серед яких основними є наступні: імовірність безвідмовної роботи, середній наробіток до відмови,

інтенсивність відмов, параметр потоку відмов, наробіток на відмову. Для перерахованих показників розроблені їхні математичні моделі. Розглянемо деякі з них.

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ - це ймовірність того, що в межах заданого наробітку відмова об'єкта не відбудеться, тобто

$$P(t) = P(t \leq T_3), \quad (1.1)$$

де $P(t)$ — імовірність безвідмовної роботи; t — поточний час; T_3 — заданий час.

На практиці користуються статистичною ймовірністю, що являє собою межа відносини числа об'єктів, що працюють безвідмовно за час t , до загального числа об'єктів, що працюють при $t = 0$. Імовірність безвідмовної роботи є подією, протилежною ймовірності відмов:

$$P(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N - n(t)}{N} = 1 - Q(t),$$

де N - загальне число об'єктів, що працюють при $t = 0$; $n(t)$ - число об'єктів, що відмовили до моменту часу t ; $Q(t)$ - імовірність відмови об'єктів.

Середній наробіток до відмови T_c — це математичне очікування наробітку об'єкта до першої відмови:

$$T_c = \sum_{i=1}^N t_i / N, \quad (1.2)$$

де N — число випробуваних об'єктів; t_i — час справної роботи i -го об'єкта.

При визначенні T_c думають, що випробування об'єктів закінчується, коли всі N об'єктів відмовлять.

Інтенсивність відмов - це умовна щільність імовірності виникнення відмови не відновлюваного об'єкта, обумовлена для розглянутого моменту

часу за умови, що до цього моменту відмова не виникла. Інтенсивність відмов визначається по формулі

$$\lambda(t) = \frac{I(t)}{P(t)} = \frac{1}{1-Q(t)} \cdot \frac{d}{dt} Q(t) \quad (1.3)$$

На практиці інтенсивність відмов визначається як відношення числа об'єктів, що відмовили n до числа справно працюючих об'єктів N за час Δt ,

$$\lambda(t) = n/N_{\Delta t}, \quad (1.4)$$

при $N \rightarrow \infty$.

Інтенсивність відмов являє собою функцію, що має три характерних ділянки: приробітки, нормальній експлуатації, старіння й зношування (рис. 1.1). Для ділянки нормальної експлуатації $\lambda = 1/T_c$, де T_c — середній наробіток до відмови.

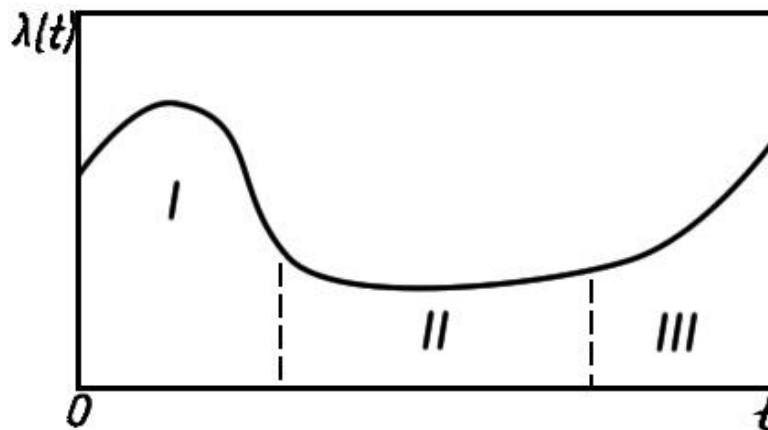


Рисунок 1.1 - Графік інтенсивності відмов

Параметр потоку відмов — це відношення середнього числа відмов відновлюваного об'єкта за довільно малий його наробіток до значення

цього наробітку. Як характеристика потоку відмов використовують «провідну функцію» — математичне очікування числа відмов за час t $\Omega(t) = n(t)/t$, де $n(t)$ - число відмов за час t ; t - спостережуваний від різань часу.

Середній наробіток на відмову — це математичне очікування часу справної роботи ремонтуємого об'єкта

$$T_o = \sum_{i=1}^N t_i / N, \quad (1.5)$$

де t_i - час справної роботи після i -го відмови; N — число відмов у спостережуваному проміжку часу. Варто помітити, що T_o і T_c істотно відрізняються друг від друга тим, що при визначенні T_c ураховується працездатність об'єкта до першої відмови, а при визначенні та їхня працездатність ураховується й після ремонту, точніше, у проміжку між ремонтами.

б) Довговічність - це властивість об'єкта зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування й ремонтів. Вона включає одиничні показники, такі, як середній термін служби, середній ресурс, призначений ресурс і ін.

Середній термін служби — це математичне очікування терміну служби, тобто календарної тривалості експлуатації об'єкта від його початку експлуатації або її поновлення після ремонту до граничного стану, при якому подальша експлуатація неможлива.

Назначений ресурс - це сумарний наробіток об'єкта, при досягненні якої експлуатація повинна бути припинена незалежно від його стану.

Середній ресурс - це математичне очікування ресурсу, що обчислює статистично по досвіду експлуатації сукупності об'єктів.

Гамма-процентний ресурс — це наробіток, протягом якої об'єкт не досягає граничного стану із заданою ймовірністю γ відсотків. Визначається він з рівняння $1-F_p(t) = \gamma/100$, де $F_p(t)$ — функція розподілу ресурсу.

в) Ремонтпридатність - це властивість об'єкта, що полягає в пристосованості до попередження й виявлення причин виникнення його відмов і усуненню їхніх наслідків шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування. Ремонтпридатність включає два одиничних показники: ймовірність відновлення в заданий час і середній час відновлення:

ймовірність відновлення в заданий час описується залежністю

$$P_e(t) = P_e(t \leq T_3),$$

де T_3 — задане значення часу відновлення;

Середній час відновлення - це математичне очікування часу відновлення працездатності.

г) Збереженість - це властивість об'єкта безупинно зберігати справний і працездатний стан протягом і після зберігання й транспортування. Збереженість кількісно оцінюється гамма-процентним терміном зберігання й середнім терміном зберігання.

Крім перерахованих одиничних показників якості, надійність об'єкта оцінюється рядом комплексних показників таких, як коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного обслуговування й коефіцієнт оперативної готовності.

Кількісні характеристики надійності різних об'єктів одержують на основі експериментальних даних про розподіл випадкових відмов, тому теорія ймовірностей і математична статистика становлять математичні основи теорії надійності.

1.1.2.2 Основні закони розподілу

Найбільше поширення в теорії надійності одержали наступні розподіли відмов: експонентне, нормальне, Вейбулла, біноміальне, рівномірне.

Нормальний закон розподілу щільності відмов застосовується при оцінці надійності електромеханічних об'єктів, підданих зношуванню й старінню, тобто об'єктів, в експлуатації яких ураховується поступова відмова.

Щільність відмов при їхньому нормальному розподілі описується функцією виду

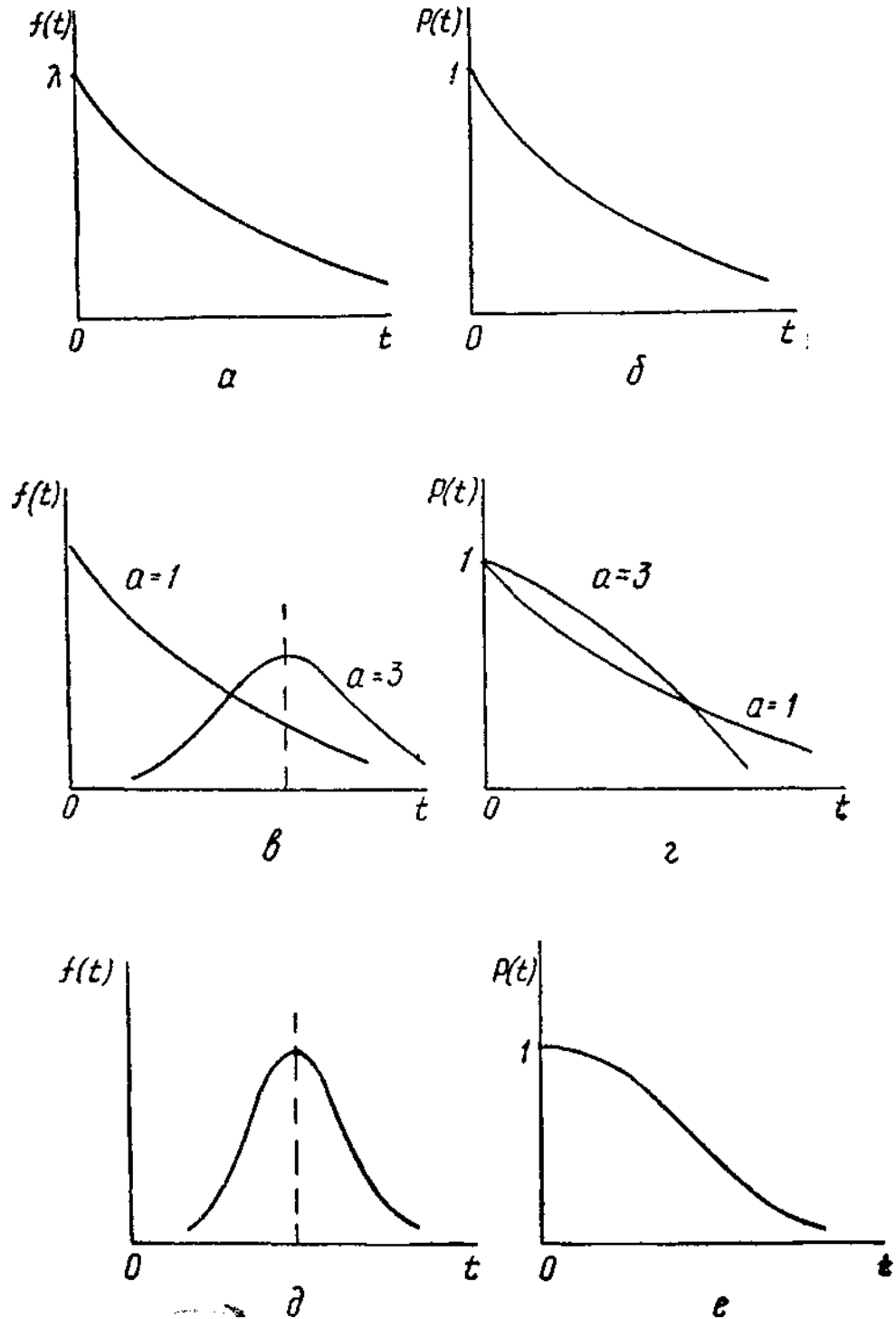
$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T_c)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.6)$$

де T_c — середній час (математичне очікування); σ - середнє квадратичне відхилення значення часу відмов.

Нормальний закон є досить загальним. Він описує явища, залежні від безлічі різних факторів. При необмеженому зростанні числа незалежних випробувань нормальний закон можна розглядати як граничний, до якого сходяться інші розподіли випадкових, величин. Графіки функцій щільності розподілу й імовірності наведені на рис. 1.2.

Експонентний закон надійності застосовується для випадку рідких подій, коли потік відмов є найпростішим. Звичайно його використовують для оцінки надійності об'єктів разового застосування, а також для оцінки надійності складних об'єктів без обліку специфіки окремих пристроїв, що входять в об'єкт дослідження. При цьому передбачається, що всі вироби мають експонентний розподіл відмов, а їхній потік відмов є найпростішим.

Розподілення Вейбулла отримано в результаті дослідження термінів служби об'єктів, яким властиві усталостні явища, наприклад вакуумні прилади, шарикопідшипники та ін.



а — експонентний розподіл; б — функція ймовірності безвідмовної роботи експонентного розподілу; у-розподіл відмов Вейбулла; г— функція ймовірності безвідмовної роботи для розподілу Вейбулла; д—нормальний розподіл; е — функція безвідмовної роботи для нормального розподілу.

Рисунок 1.2 - Закони розподілу відмов

Щільність розподілу відмов описується залежністю

$$f(t) = \frac{\alpha}{T_0} e^{x-1} e^{-t^\alpha/T_0},$$

де α — число відмов, на яке ведеться розрахунок; T_0 — середній час між відмовами. Імовірність безвідмовної роботи визначається по формулі

$$P(t) = e^{-t^\alpha/T_0}$$

Біноміальний розподіл використовується для оцінки надійності вибірково-підсумовуючих схем, застосовуваних в інформаційно-вимірювальних системах, у системах телефонного зв'язку й т.д. Цей розподіл дискретних подій, що мають два стани, у нашому випадку відмова або безвідмовність.

Імовірність безвідмовної роботи описується залежністю виду

$$P(n \geq k \geq m) = \sum_{i=k}^n C_n^i P^i (1 - P)^{n-i},$$

де n — загальне число об'єктів системи; m — найменше число об'єктів, що забезпечують функціонування розглянутої системи; k — число об'єктів із сукупності n , що забезпечують функціонування систем; C_n^i — число сполучень із n по m ; P — імовірність безвідмовної роботи одного об'єкта.

1.1.2.3 Забезпечення надійності на етапі проектування

Надійність апаратури визначається надійністю й кількістю використовуваних у ній елементів. Тому що надійність є одним з основних параметрів виробу, те, проектуючи апаратури, її варто оцінювати поряд з іншими параметрами й на основі цих розрахунків робити виводи про правильність обраної схеми й конструкції виробів.

На етапі проектування, коли ще точно не визначені режими роботи схеми, роблять розрахунок, задаючись орієнтовними даними, що визначають умови роботи. Так, як температура навколишнього середовища для кожного з елементів може бути прийняте середнє значення температури усередині блоку, певне на підставі даних про кількість теплоти, виділюваної усередині блоку, його габаритних розмірів, умов тепловіддачі й температури середовища, що оточує блок. Розрахована в такий спосіб температура не враховує місцевих перегрівів, створюваних окремими елементами, що виділяють значну кількість теплоти.

Якщо отримані в результаті розрахунку параметри надійності не відповідають вимогам, то варто проаналізувати можливість підвищення надійності за рахунок полегшення режимів або використання більше надійних типів елементів. Для цього варто визначити, які типи елементів у найбільшій мері визначають інтенсивність відмови апарата Λ відповідно до (1.6), і повторити розрахунок, припускаючи, що ці елементи замінені іншими, що мають більшу надійність або більше номінальне значення параметра, що впливає на надійність (припустима потужність розсіювання для резистора, допустиме напруження для конденсатора й т.д.). Варто також проаналізувати, як застосування нових елементів або режимів використання позначиться на масі, габаритах, вартості й інших техніко-економічних параметрах виробу. Звичайно таким методом вдається підвищити надійність виробу не більш ніж в 2-3 рази.

1.1.2.4 Забезпечення надійності на етапах виробництва й експлуатації

Проведення розрахунків, правильний вибір режимів ЕРЕ та інші розглянуті вище технічні міри є необхідними для того, щоб виріб мав необхідну надійність.

Однак для забезпечення надійності виробу в процесі виробництва й експлуатації цього недостатньо. Справа в тому, що значна частина відмов відбувається через помилки й порушення технологічного процесу, що допускають виробничим персоналом у процесі виготовлення виробу.

Для зменшення кількості таких помилок треба мінімізувати використання ручної праці в процесі виробництва.

Високу надійність може мати тільки ті апаратури, при виробництві якої широко використається автоматизація й механізація виробничих процесів. Зв'язано це з тим, що при ручних способах виготовлення, наприклад, при ручній зборці й пайку, важко домогтися строгого дотримання технологічних режимів, що забезпечують високу надійність. У зв'язку із цим найбільшу надійність має радіоелектронні апаратури, у якій широко застосовуються мікросхеми й мікрозбірки (вони розглянуті далі), і інші прогресивні методи конструювання, що дозволяють механізувати й автоматизувати процес виробництва.

Надійність залежить від правильного дотримання заданих умов експлуатації, від своєчасного і якісного проведення профілактичного огляду й ремонту. Статистичні дані показують, що до 25 % відмов відбувається з вини експлуатуючого персоналу. Тому в інструкціях для експлуатації апаратів необхідно давати докладні правила експлуатації, а також методику профілактичного огляду й ремонту.

1.1.2.5 Експериментальна оцінка надійності

Наведені вище формули дозволяють оцінити надійність апаратів на етапі її проектування. Але ця оцінка носить наближений характер, тому що надійність залежить від великої кількості факторів, багато хто з яких не вдається врахувати при розрахунку. Тому надійність поряд з іншими

параметрами апарата в обов'язковому порядку потрібно оцінювати експериментально.

Раніше говорилося, що відрізок часу між двома відмовами не може характеризувати надійність апаратів, тому що моменти появи відмов носять випадковий характер. Мірою надійності служить середній наробіток на

відмову, коли проміжки часу між відмовами усереднюють. Тому, щоб оцінити $T_{\text{ср}}$, потрібно провести тривалі випробування, при яких загальний час роботи апаратурам буде значно більше, ніж очікуване значення $T_{\text{ср}}$. Чим більше тривалість випробувань і чим більше відмов отримано в результаті цього, тим точніше $T_{\text{ср.оп}}$ відбиває щирі властивості апарата.

На графіку рис. 1.3 показана залежність похибки експериментально отриманого значення $T_{\text{ср.оп}}$ від числа відмов (числа усереднених інтервалів між сусідніми відмовами), розрахована за умови, що вірогідність отриманих результатів не нижче 90 %.

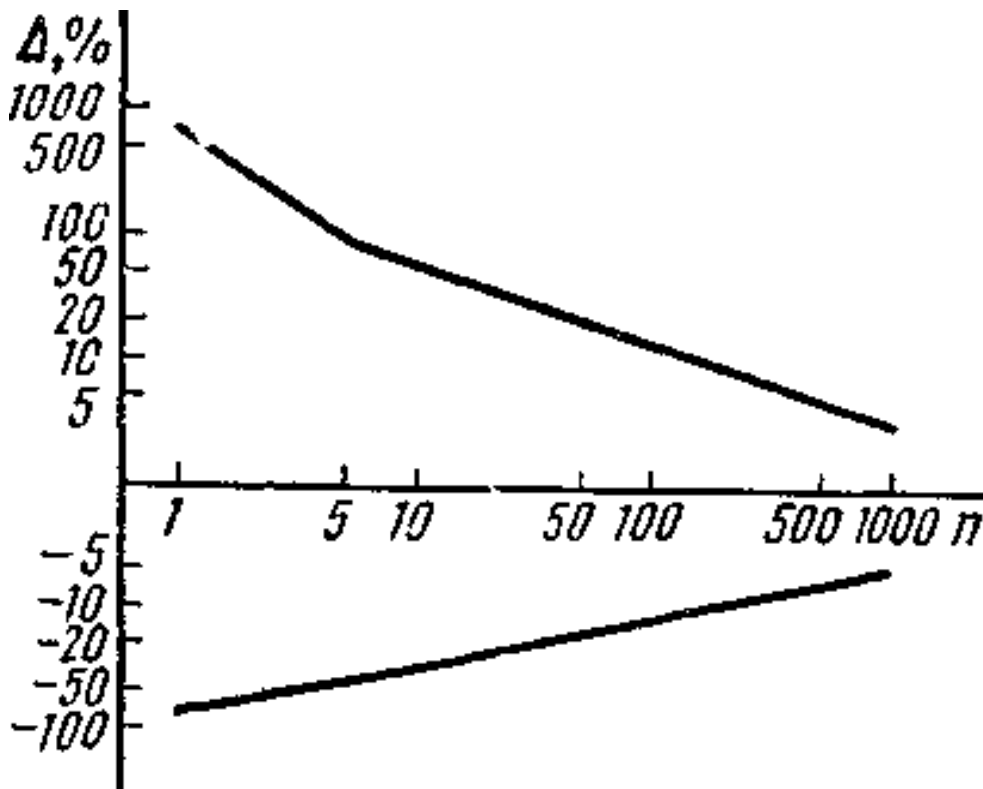


Рисунок 1.3 – Залежність похибки $T_{\text{ср.оп}}$ від числа відмов при випробуваннях

Із цього графіка видно, що помилка при експериментальному визначенні T_{cp} прагне до нуля, коли число відмов, отримане при випробуваннях, прагне до нескінченності. При числі відмов, відмінному від нескінченності, результати експерименту не будуть точними. Допустимо, що при випробуванні виріб проробив $t = 1000$ ч і при цьому було отримано $n = 10$ відмов. Тоді відповідно до (2.3) середній наробіток на відмову, отримана в результаті досвіду, $T_{cp,оп} = 1000/10 = 100$ ч. Відповідно до графіка мал. 1.3 щире значення середнього наробітку на відмову T_{cp} випробуваного апарата може відрізнятись від отриманого в результаті експерименту на +61 і -35%, тобто лежить у межах 161—65 ч.

Зроблені застереження про 90%-ний вірогідності отриманих результатів означають, що якщо проведено 100 серій випробувань до появи в кожній серії 10 відмов, то при 90 серіях T_{cp} перебуває в межах 161—65 ч, а при 10 серіях може бути поза цими межами.

З наведеного графіка також треба, що експериментальна оцінка надійності апаратурам вимагає більших витрат часу. Так, якщо розрахункове значення $T_{cp} = 1000$ ч і погрішність при оцінці цього значення не повинна перевищувати +61 і —35 %, те варто планувати випробування на 10 000 ч.

1.1.3 Конструктивні особливості електронних блоків комп'ютерних систем

Сучасні конструкції електронних блоків КС обробки цифрових сигналів, виконані на елементній базі у вигляді ІС різного рівня інтеграції, у тому числі БІС, СБІС і дискретних ЕРЕ. При проектуванні сучасної КС на базі ІС застосовують в основному три варіанти конструкцій блоків: книжковий, рознімний і касетний.

Книжковий варіант конструкції блока - це пакет функціональних вузлів, шарнірно з'єднаних між собою. Електричне з'єднання вузлів у такому

блоці здійснюється з використанням об'єднавчої плати гнучкими друкованими, тканими або відпресованими кабелями, а також об'ємними провідниками. Конструкція книжкового варіанта блоку досить складна, але дозволяє одержувати високе значення коефіцієнта заповнення. Книжковий варіант конструкції забезпечує вільний доступ до ІС і мікросборок, навісним елементам і монтажним електричним з'єднанням, що перебувають у включеному стані.

Рознімний варіант конструкції блоку також являє собою набір функціональних вузлів з рознімачами врубного типу. Конструкція відрізняється простотою, високою технологічністю й ремонтпридатністю, однак має порівняно низьку надійність рознімного з'єднання й менше значення коефіцієнта заповнення в порівнянні із книжковим варіантом.

Касетний варіант конструкції блоку поєднує у собі книжковий і рознімний варіанти конструкцій, забезпечує функціональну закінченість складових частин блоку за рахунок об'єднання елементів у касету і їх легкозаємність.

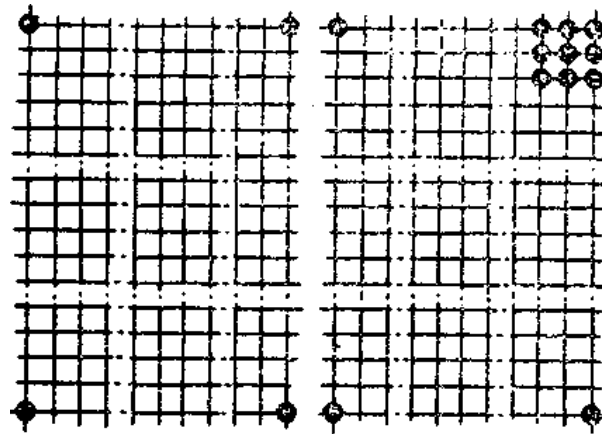
Електронні блоки та вузли, застосовувані в КС транспорті, мають свої конструктивні особливості.

- вони можуть не використовувати примусового охолодження, а мати природне повітряне охолодження.

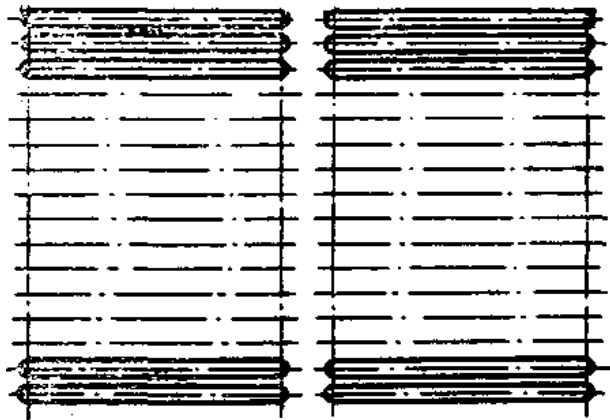
- вони можуть розміщатися або в герметичних корпусах, або в перфорованих корпусах.

При цьому застосовуються різні види перфорації як це показано на рис. 1.4.

А на рис. 1.5 як приклад наведені графіки зміни температури в перфорованих кожухах у різних зонах.



а)

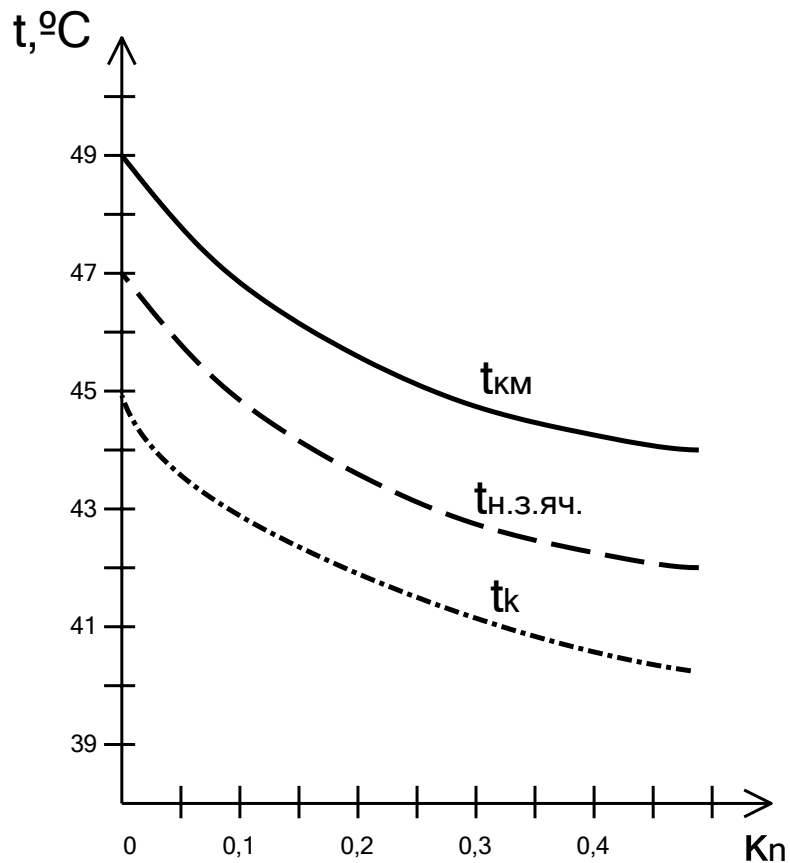


б)

а)- перфорації у вигляді отворів;

б)- перфорації у вигляді вирізів

Рисунок 1.4 - Ескізи кожуха РЕА з різним коефіцієнтами перфорації



t_k – температура кожуха;

$t_{н.з.яч.}$ - температура нагрітої зони осередку;

t_m – температура кожуха мікросхеми;

Рисунок 1.5 - Зміна температури в різних зонах пристроїв залежно від зміни перфорації кожуха

1.1.4 Вплив різних чинників на параметри теплових режимів комп'ютерних систем

1.1.4.1 Загальна класифікація факторів впливаючих на надійність КС

У процесі розробки, виробництва й експлуатації на КС діє безліч різних факторів, що впливають на її надійність. Їхній вплив на складові надійності і їхні показники по-різному.

На рис. 1.6 наведена класифікація цих факторів. Всі фактори можна підрозділити на дві групи: об'єктивні фактори й суб'єктивні фактори.

До групи об'єктивних факторів ставляться експлуатаційні, кліматичні й біологічні.

К групі суб'єктивних факторів ставляться помилки людей при розробці, виробництві й експлуатації. До факторів, що визначають надійність „КС" на етапах розробки й виробництва, ставляться: вибір схемних рішень, вибір елементів і режим їхньої роботи, вибір конструктивних рішень, вибір і дотримання технології виробництва, автоматизація виробництва, тренування елементів і апаратури, контроль якості й т.п. Всі перераховані фактори значно впливають на надійність КС, що надходить в експлуатацію. Про цьому досить докладно викладено в літературі [6, 7, 8, 9].

Зупинимось більш докладно на об'єктивних і деяких суб'єктивних факторах, що впливають на теплові режими роботи КС в процесі її експлуатації.

1.1.4.2 Електричні режими

Зміни електричних режимів роботи елементів впливають на стабільність і довговічність їхніх характеристик і параметрів і, отже, на довговічність і надійність всієї КС.

Всі елементи характеризуються припустимими навантаженнями по потужності розсіювання, струмам, напругами т.п. Отже, робота елементів при гранично припустимих навантаженнях скорочує їхній термін служби й не гарантує надійної роботи. Зменшення фактичних навантажень збільшує надійність роботи.

Про величину реального навантаження судять за статистичним даними експлуатації й вимірам режимів роботи елементів. Для оцінки режиму роботи використовують коефіцієнти навантаження по потужності й по напрузі.

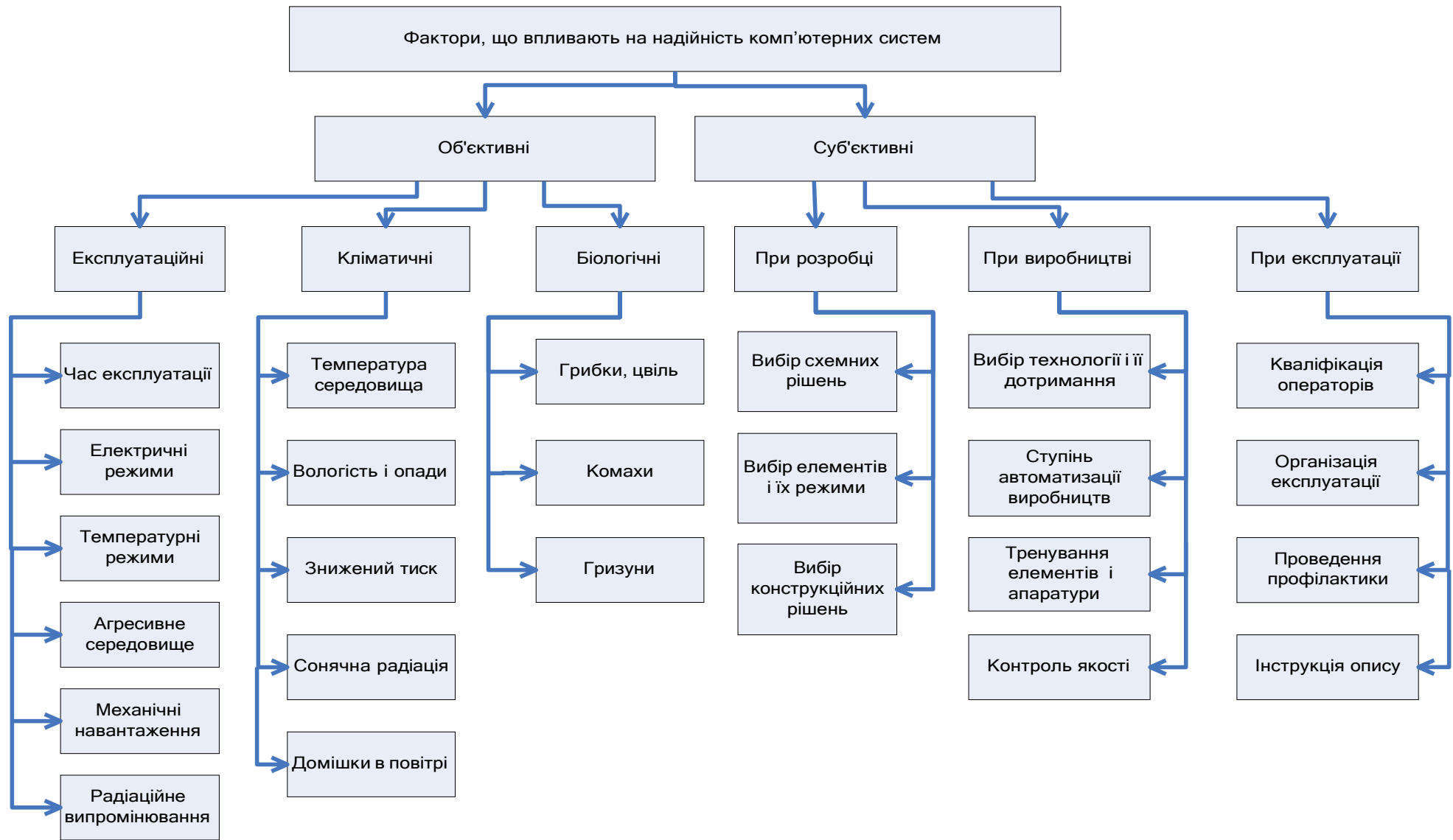


Рисунок 1.6 - Класифікація факторів, що впливають на показники надійності комп'ютерних систем

Коефіцієнти навантаження по потужності

$$K_{\text{нр}} = \frac{P_p}{P_n}, \quad (1.7)$$

де P_p - робоче значення потужності розсіювання;

P_n - номінальне значення потужності розсіювання.

Коефіцієнт навантаження по потужності використовують для оцінки режимів роботи резисторів і транзисторів. В останньому випадку вираження (1.1) прийме вид:

$$K_{\text{нр}} = \frac{P_a + P_n + \sum P_c}{P_{\text{н.н}} + P_{\text{н.а}}}, \quad (1.8)$$

де P_a , P_c , P_n - робочі значення потужності, що розсіюють виводами транзистора;

$P_{\text{н.н}}$ - номінальне значення потужності на базі;

$P_{\text{н.а}}$ - номінальне значення потужності в ланцюзі колектора;

Коефіцієнт навантаження по напрузі

$$K_{\text{ни}} = U_p / U_n, \quad (1.9)$$

де U_p - робоче значення напруги; U_n - номінальне значення напруги.

Коефіцієнт навантаження по напрузі використовують для оцінки режиму роботи різних конденсаторів, ізоляторів і т.п.

Вплив електричних навантажень головним чином зводиться до погіршення температурного режиму й появи перенапруги, що може викликати пробій ізоляції.

Як той, так і інші фактори приводять до зниження надійності, появи передчасних відмов. Електричні режими також впливають на залежність надійності від числа включень, тому що сприяють виникненню перенапруг при включеннях.

Елементи, що працюють у КС повинні мати відповідний запас електричної міцності, обумовлений прийнятним значенням коефіцієнта навантаження.

1.1.4.3 Температурні режими

Температурні впливи впливають на працездатність напівпровідникових приладів, ІМС, точних механізмів, магнітних елементів пам'яті й т.д. З підвищенням температури процес старіння матеріалів, особливо з великою магнітною проникністю, розвивається швидше. Сучасні КС працездатні в інтервалі температур від - 60 до +80 °С.

Звичайна зміна температури навколишнього середовища супроводжується зміною тиску й вологості, тобто має місце комплексний вплив кліматичних факторів. При цьому багато процесів, пов'язані з корозією й утворенням непровідних плівок, розвиваються швидко. Так, швидкість корозії заліза і його сплавів при температурі +40 °С и вологості 70 % становить 50 мкм у рік, а при вологості 95 % і температурі навколишнього середовища 90 °С вона досягає 200 мкм у рік.

КС експлуатують у різних температурних умовах. Температурний вплив тим, більше, чим більше швидкість і частоти зміни температури. Найбільш важкими є польові умови роботи апаратури, робота КС в космічних апаратах, ракетах і літаках.

Температура навколишнього середовища істотно впливає на температуру усередині апаратів і температуру окремих елементів. Так, в апаратах, що перебуває під прямим впливом сонячних променів, при темному фарбуванні поверхні можливе підвищення температури на 35° С и більше. Так як температура елемента визначається власним нагріванням і температурою середовища, то таке збільшення температури середовища приведе до підвищення температури елемента. Отже, фактичне значення коефіцієнта навантаження виявиться вище розрахункового. Цей фактор

особливо важливого значення набуває для супутників землі й космічних апаратів, у яких сторона, звернена до сонця досить інтенсивно нагріта а тіньова сторона холодна.

Важливим фактором, що впливає на надійність є швидкість і циклічність зміни температури в пристроях КС. Ці фактори приводять до появи механічних знакозмінних зусиль і, як наслідок, до ослаблення механічних кріплень, появи усталостних тріщин, відпріванню й т.п.

Так, для авіаційної КС різниця температур може досягати 80 С, зі швидкість зміни до 50° С у хвилину, а для бортового устаткування ракет і того більше.

При низьких температурах пластмаси втрачають міцність, гумові вироби стають тендітними й розтріскуються, метали робляться ламкими. У тріщини, що утворилися, ізоляції попадає волога, знижуючи її електричну міцність. При низьких температурах легко руйнуються з'єднання пластмас із металами, спаї металів зі склом, порушується пайка, регулювання зазорів, падає ємність електричних конденсаторів і т.п.

Підвищена температура сприяє прискоренню - розпаду органічних ізоляційних матеріалів, перегріву й виходу з ладу напівпровідникових приладів, прискореному старінню ламп. Варто враховувати, що невагомість у космосі може привести до погіршення дії системи примусового охолодження й до перегріву РЕА. Високі температури погіршують ізоляційні властивості різного роду заливань, обмоток, механічні властивості більшості полімерів, що приводить до деформації деталей і виходу їх з ладу або ж появи необоротних змін параметрів.

Періодичні зміни низьких і високих температур особливо швидко приводять до руйнування різного роду обмоток.

Вплив температури на інтенсивність відмов РЕА прийнято оцінювати температурним коефіцієнтом інтенсивності відмов

$$K_i = \left(\frac{t_p^0}{t_H^0} \right)^a, \quad (1.10)$$

де t_p^0 - робоча температура елемента;
 t_H^0 - номінальна температура елемента;
 a - показник ступеня, обумовлений типом елемента.

Вплив на надійність фактичного значення температури враховують за допомогою коефіцієнта впливу λ , значення якого для деяких груп електрорадіоелементів (ЕРЕ) і різних коефіцієнтів навантаження наведені в таблиці 1.1

Інтенсивність відмов при заданому значенні температури навколишнього середовища й навантаження можна знайти по формулі

$$\lambda = \lambda_0 \alpha \quad (1.11)$$

Як видно з таблиці 1.1, значення α , а отже, і γ для транзистора зменшується в 50 разів при зміні коефіцієнта навантаження в 10 разів (від 1 до 0,1); збільшення температури в 4 рази приводить до зростання α і γ в 15 разів. Аналогічні виводи можна зробити при розгляді таблиці 1.1 для інших типів компонентів.

Таким чином, за рахунок полегшення температурних режимів можна істотно підвищити надійність виробу.

1.1.4.4 Знижений тиск

Вплив зниженого тиску в основному поширюється на обчислювальні пристрої, використовувану в літаках, вертольотах, космічних апаратах, ракетах, а також у гірській місцевості на висоті понад 1000 м.

Зниження тиску робить на КС двоякий вплив: безпосередньо змінює електричні характеристики й побічно погіршує умови охолодження.

Знижений тиск впливає на ізоляційні властивості повітря, приводить до зміни ємності повітряних конденсаторів і характеристик інших елементів, у яких повітря використовується в якості ізолятора. При зниженому тиску легко виникає тліючий розряд між провідниками, що перебувають під високою напругою. При зміні висоти з 1000 до 1600 м величина пробивної напруги повітря зменшується в 4 рази.

Зниження тиску погіршує відвід тепла від елементів КС, що може привести до їхнього перегріву, особливо на більших висотах, тому що вже на висоті 6 км теплоємність повітря падає в 2 рази в порівнянні з його теплоємністю в землі.

У зв'язку із цим необхідно відповідне охолодження елементів КС, що варто враховувати при виборі розмірів і стану випромінюючої поверхні, герметизації апаратури, міри примусового охолодження.

1.1.4.5 Радіація

Радіація може бути природної й штучної. Джерелами природної радіації є: космічне випромінювання, розпад природних радіоактивних елементів, радіація радіаційних поясів Землі й випромінювання Сонця.

Корпускулярне випромінювання Сонця й космічне випромінювання в значній мірі поглинається земною атмосферою, створюючи разом з розпадом природних радіоактивних елементів радіаційний фон на поверхні Землі. Його рівень піддається флуктуаціям. Особливо сильні зміни радіаційного фону можливі при спалахах сонячної активності.

Природний радіаційний фон практичного впливу на КС не робить.

Як ми вже відзначали, теплове випромінювання Сонця погіршує умови охолодження пристроїв КС й може сприяти її місцевому або загальному перегріву.

Вплив ультрафіолетового випромінювання, хоча й значно ослабленого атмосферою, приводить до активізації фізико-хімічних процесів старіння, у результаті чого прискорюються окисні процеси й розпад багатьох органічних діелектриків, руйнуються лакофарбові покриття, прискорюється корозія деяких металів.

Для КС, що працює в космічному просторі, так само істотний вплив корпускулярного випромінювання Сонця, енергія часток якого може доходити до 20 МеВ, і вплив радіації радіаційних поясів Землі. Так, на висоті 3600 км його енергія досягає 700 МеВ при потужності потоку до 2×10^5 протон/см².

Штучна радіація створюється при атомних і термоядерних вибухах, атомними реакторами й підсилювачами часток високих енергій. Рівні штучної радіації можуть досягати дуже високих значень, що перевищують природну радіацію.

Ступінь впливу на елементи КС визначається видом радіації й умовами впливу. Найбільше сильно піддані впливу штучної радіації елементи КС, що використовують органічні й напівпровідникові матеріали. Вплив радіації також залежить від технології виготовлення елементів КС. Так, планарні транзистори більше стійкі до радіації, чим транзистори з мезаструктурою, а тонкопленочні транзистори на 2-3 порядку більше стійкі, чим монокристалличні.

При опроміненні швидкими нейтронами порушується структура матеріалу, підвищується його температура, а в результаті захвата нейтронів утворюються домішки інших елементів.

Опромінення електронами й протонами на структуру речовини практично не впливають, але викликає іонізацію. При опроміненні речовини

електронами великої енергії може виникнути тверде рентгенівське випромінювання. При опроміненні гама променями можуть активізуватися деякі реакції усередині речовини.

Під впливом такого роду радіації в матеріалах з яких вироблені елементи КС можуть відбуватися необоротні зміни, тимчасово необоротні, зникаючі після закінчення деякого часу після припинення опромінення, і оборотні.

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти впливу (поправочні коефіцієнти, що залежить від температури) для різних електрорадіоелементів при різних коефіцієнтах навантаження.

t, °C	Значення α при k рівному				
	0,1	0,3	0,5	0,8	1
Кремнієві напівпровідникові прилади					
20	0,02	0,05	0,15	0,5	1
40	0,05	0,15	0,30	1	--
70	0,15	0,35	0,75	--	--
Керамічні конденсатори					
20	0,15	0,20	0,35	0,65	1
40	0,20	0,30	0,50	1,00	1,4
70	0,30	0,50	0,75	1,5	2,2
Паперові конденсатори					
20	0,35	0,55	0,70	0,85	1,0
40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2
70	0,7	1,0	1,4	1,8	2,3
Електролітичні алюмінієві конденсатори					
20	0,55	0,65	0,75	0,90	1,0
40	0,65	0,80	0,90	1,1	1,2
70	1,45	1,75	2,0	2,5	2,8
Металодieleктричні, або металооксидні тонкоплівкові резистори					
20	0,40	0,50	0,65	0,85	1,0
40	0,45	0,60	0,80	1,1	1,35
70	0,50	0,75	1,00	1,5	2

Закінчення таблиці 1.1.

t, °C	Значення α при k рівному				
	0,1	0,3	0,5	0,8	1
Силові трансформатори					
20	0,40	0,43	0,45	0,55	1
40	0,42	0,50	0,60	0,90	1,5
70	1,5	2,0	3,1	6,0	10,0

1.1.5 Основна мета магістерської роботи і шляхи її реалізації

Як показав проведений аналіз на надійність КС в процесі експлуатації великий вплив мають теплові режими роботи пристроїв та вузлів КС. Важливим фактором підвищення надійності є правильний вибір теплових режимів роботи. Вважають, що оптимальні електричні навантаження елементів не повинні перевищувати 25% від номінальних. У менш відповідальних випадках їх можна збільшити до 40% і трохи вище. Конструктивні рішення повинні забезпечити необхідні теплові режими радіоелементів пристроїв КС, необхідний мікроклімат.

Саме тому магістерська робота й присвячена оцінці і розробці алгоритмічного та програмного забезпечення методик контролю і розрахунків параметрів теплових режимів роботи комп'ютерних систем. Необхідність такої роботи підтверджено аналізом відмов в КС, що проведено у попередньому підрозділі. Крім того, в літературі [5, 8, 10] наведено відсоткове співвідношення розподілу відмов в залежності від суб'єктивних факторів які в свою чергу складають близько 70% від усіх відмов [9].

Ці данні наведені до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2- Розподіл відмов у комп'ютерних системах

№ п/п	Причина відмови	Частка відмови
1.	Помилки розробок	40%
2.	Помилки виробництва	30%
3.	Помилки експлуатації	30%

Крім того, в таблиці 1.3. наведені основні види несправностей, виявлені в КС у процесів експлуатації, кількісна оцінка виникаючих відмов, а також причини цих відмов.

Таблиця 1.3. Основні види несправностей КС.

№ п/п	Основні види несправностей	Кількість відмов (в % від загального числа)	Найбільш ймовірні причини відмов
1.	Вихід з ладу електрорадіоелементів у результаті порушення нормального режиму роботи	23	Тепловий вплив
2.	Порушення електричного контакту в друкованих платах	7	Вібраційний вплив. Тепловий вплив
3.	Коротке замикання в друкованих платах.	4	Вплив середовища (волога). Вібраційний вплив.
4.	Обрив ланцюга.	6	Вібраційний вплив. Механічний вплив. Тепловий вплив.
5.	Коротке замикання в лінії в ланцюгах комутації	5	Вібраційний вплив. Механічний вплив
6.	Поява перешкоди	8	Паразитні зв'язки.

Тому метою даної магістерської роботи є оцінка впливу теплових режимів роботи на надійність комп'ютерних систем контролю та діагностики

за допомогою розробленого програмного забезпечення за удосконаленою методикою.

Це забезпечить оптимальний вибір конструкційних рішень на стадії проектування і тим самим підвищить надійність комп'ютерних систем в процесі експлуатації.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- 1) провести аналіз особливостей і впливу теплових режимів роботи на комп'ютерні системи контролю та діагностики в процесі їх експлуатації;
- 2) провести аналіз існуючих методів і алгоритмів розрахунків параметрів теплових режимів комп'ютерних систем;
- 3) обрати методику контролю і розрахунків параметрів теплових режимів роботи блоків комп'ютерних систем;
- 4) розробити алгоритми розрахунків по обраній методиці;
- 5) обрати мову програмування і написати програму для контролю і розрахунків параметрів теплових режимів роботи комп'ютерних систем контролю та діагностики;
- 6) оцінити вплив теплових режимів роботи на надійність комп'ютерних систем контролю та діагностики за допомогою розробленого програмного забезпечення за удосконаленою методикою.

1.2 Аналіз існуючих методів теплових розрахунків блоків і вузлів комп'ютерних систем

1.2.1 Теплові режими комп'ютерних систем, як параметричні функції випадкових процесів

Теплові режими в електронних блоках КС залежать від ряду параметрів і умов, які й визначають температуру конкретного електрорадіоелемента, вузла або пристрою, оскільки ці параметри й умови є випадковими величинами, то й функція (значення температури) також є параметричною випадковою величиною.

Параметром називається кількісна характеристика властивостей КС (вихідна потужність, обсяг пам'яті, швидкодія й ін.), включаючи показники якості, визначені стандартами для конкретних видів КС. Функції, що описують зміни параметрів КС у часі, називаються параметричними.

Найбільш розробленою теорією, що дозволяє описувати параметричні функції, є теорія випадкових процесів. Вона часто використовується в інженерній практиці з метою аналізу сигналів в електричних ланцюгах, опису масових явищ, а також для цілей прогнозування та ін.

Процес називається випадковим, якщо заздалегідь його поведінка в майбутньому невідомо. Коли вживають термін «випадковий процес», то мають на увазі випадкову функцію, аргументом якої є час.

Розрізняють процеси як функції безперервного часу і як випадкові послідовності дискретних станів, або ланцюга. Теорію таких ланцюгів розробив А. А. Марков, по імені якого вони називаються ланцюгами Маркова, а сам процес зміни станів у часі називається марковським.

Задають процес звичайно сукупністю (ансамблем) функцій, кожна з яких називається реалізацією випадкового процесу $x_i(t)$ (рис. 1.7). Деякі класи процесів можна задавати однією функцією, про що буде сказано нижче.

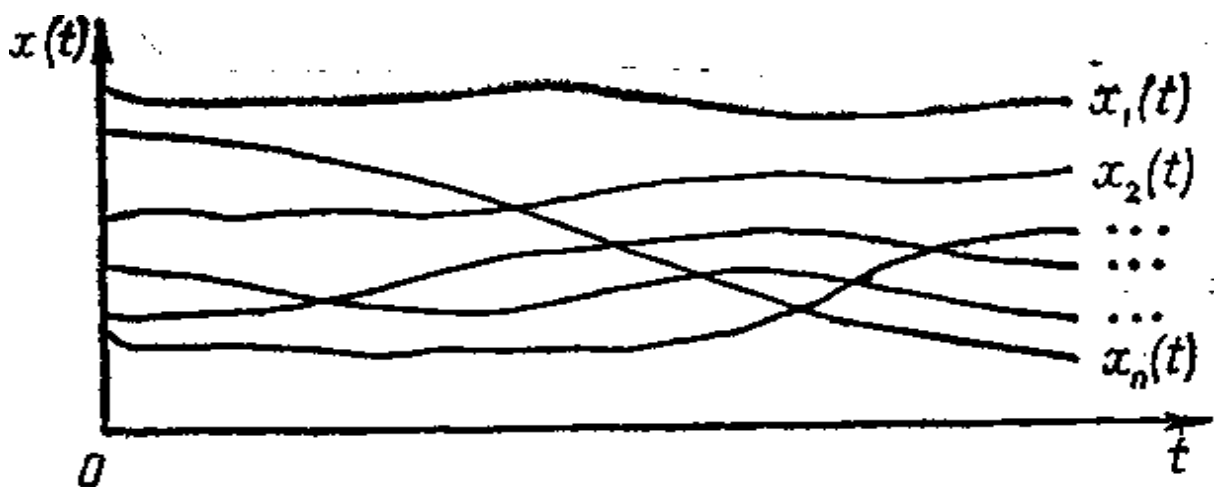


Рисунок 1.7 Випадковий процес, заданий ансамблем реалізацій

Надалі нас будуть цікавити поведження досліджуваного параметра, наприклад x , і час досягнення їм деякого заздалегідь установленого припустимого або граничного значення X .

Припустимо, що в нашому розпорядженні є n однотипних виробів, кожне з яких характеризується деяким параметром x , значення якого для різних виробів і моментів часу різне. Тоді сукупність значень x_i для будь-якого моменту часу, наприклад t_1 складе

$$x(t_1) = \{x_1(t_1), x_2(t_1), \dots, x_n(t_1)\}. \quad (1.12)$$

У цьому випадку значення реалізацій відповідає часу t_1 називаному перетином випадкового процесу. Аналогічно записується випадковий процес для будь-якого іншого перетину, включаючи вихідний стан, тобто момент випуску виробів t_0 :

$$x(t_0) = \{x_1(t_0), x_2(t_0), \dots, x_n(t_0)\} \quad (1.13)$$

Якщо параметру x призначене припустиме значення X_1 то, розглядаючи його як деякий фіксований рівень, можна знайти ймовірність досягнення процесом припустимого значення, що визначається як

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_1}{n} = F(X_1, t_1) = P[x(t_1) \leq X_1], \quad (1.14)$$

де n_1 — число реалізацій нижче рівня X_1 у момент часу t_1 ; n — загальне число реалізацій у випадковому процесі.

Якщо границя зберігає стійке значення при великому кінцевому n , то її називають статистичною ймовірністю. У цьому випадку ця ймовірність є, наприклад, імовірність настання відмови виробів до моменту часу t_1 .

Аналогічно можна одержати деяку функцію, що залежить від рівня X_1 , у перетині випадкового процесу t_1 для випадку, коли n_2 реалізацій вище рівня X_1 т. е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_2}{n} = F_1^*(X_1, t_1). \quad (1.15)$$

Ця функція являє собою ймовірність безвідмовної роботи виробів

$$F_1^*(X_1, t_1) = P[x(t_1) \geq X_1] = 1 - F(X_1, t_1) \quad (1.16)$$

Перша похідна функції $F_1(X_1, t_1)$, узята по $x(t_1)$, являє собою щільність розподілу значень реалізацій параметра x у перетині t_1 т. е. щільність розподілу випадкових величин як одномірної функції

$$f_1(X_1, t_1) = \frac{\partial F_1(X_1, t_1)}{\partial x(t_1)} \quad (1.17)$$

Геометрична інтерпретація функцій $f_1(X_1, t_1)$ і $F(X_1, t_1)$ дана на рис.1.8. Одномірні функції випадкового процесу характеризують його в одному перетині, у цьому випадку — в t_1 .

$$F_2(X_1, X_2, t_1, t_2) = P[x(t_1) \leq X_1, x(t_2) \leq X_2]; \quad (1.18)$$

$$f_2(X_1, X_2, t_1, t_2) = \frac{\partial^2 F_2(X_1, X_2, t_1, t_2)}{\partial x(t_1) \partial x(t_2)}, \quad (1.19)$$

де X_2 — заданий або припустимий рівень параметра x у сполученні t_2 випадкові процеси.

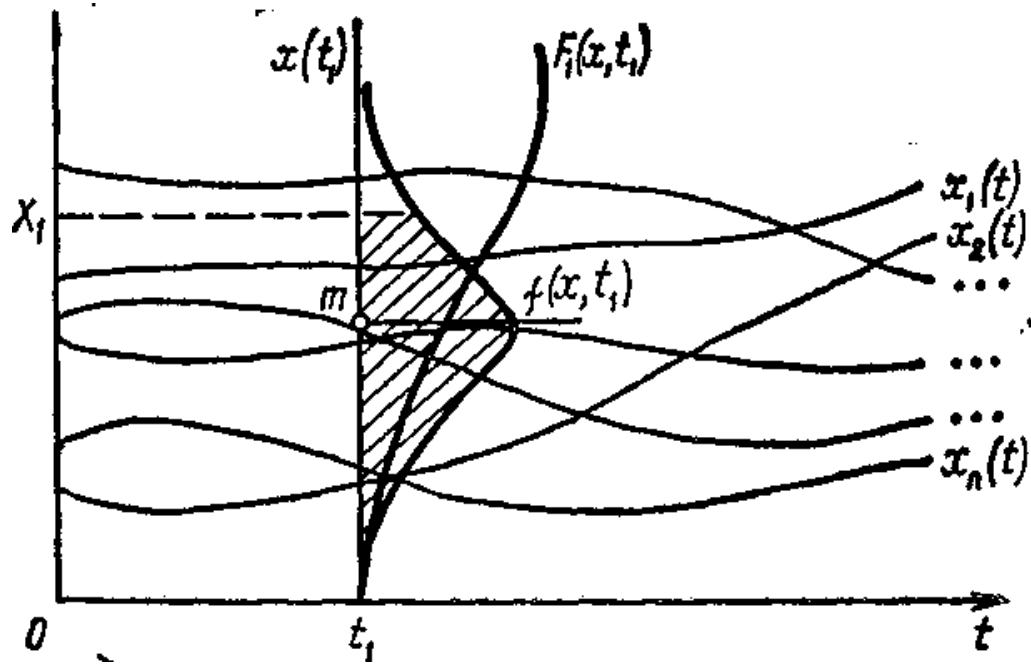


Рисунок 1.8 – Графіки, що пояснюють інтегральні й диференціальні функції випадкового процесу функції $F_2(X_1, X_2, t_1, t_2)$ і $f_2(X_1, X_2, t_1, t_2)$, які являють собою залежності від чотирьох аргументів.

Очевидно, чим більша кількість перетинів буде взято, тим більше повними будуть наші знання про випадковий процес; тому повною характеристикою процесу є n -мірна інтегральна функція

$$F_n(X_1, \dots, X_n, t_1, \dots, t_n) = P[x(t_1) \leq X_1, \dots, x(t_n) \leq X_n] \quad (1.20)$$

і відповідно диференціальна n -мірна функція, що має вид

$$f_n(X_1, \dots, X_n, t_1, \dots, t_n) = \frac{\partial^n F(X_1, \dots, X_n, t_1, \dots, t_n)}{\partial x(t_1) \dots \partial x(t_n)}. \quad (1.21)$$

Таким чином, диференціальна й інтегральна функції повністю характеризують статистичні властивості випадкового процесу. Однак безпосередньо користуватися функцією багатьох аргументів важко.

Іноді досить знати менше про випадковий процес, чим дають n -мірні функції розподілу. При цьому обмежуються знаннями моментів розподілу, причому в основному першими двома моментами: математичним очікуванням, дисперсією й змішаним або кореляційним моментом.

Перший момент у перетині випадкового процесу t_k при відомій функції щільності розподілу $f(x, t_k)$ обчислюється по формулі

$$m_x(t_k) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x, t_k) dx \quad (1.22)$$

При обробці експериментальних даних звичайно користуються статистичним середнім випадкового процесу.

Випадкова величина в деякому перетині t_k приймає ряд дискретних значень x_i тому для перетину t_k статистичне середнє має вигляд

$$m_x(t_k) = \sum_{i=1}^n \frac{x_i(t_k)}{n}, \quad (1.23)$$

де n — кількість дискретних значень, які приймає випадкова величина x у перетині t_k .

Другою найважливішою кількісною характеристикою випадкового процесу є центральний момент другого порядку, або дисперсія

$$D_x(t_k) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - m_x(t_k)]^2 f(x, t_k) dx \quad (1.24)$$

Аналогічно попередньому при обробці експериментальних даних користуються статистичною дисперсією

$$D_x(t_k) = \sum_{i=1}^n [x_1(t_k) - m_x(t_k)]^2 / (n - 1) \quad (1.25)$$

Якщо математичне очікування й дисперсія для безлічі перетинів випадкового процесу знайдені, то математичне очікування й дисперсію у вигляді функцій дискретного аргументу можна визначити по формулах

$$m_x(t_i) = m_x(t_1, t_2, \dots, t_n); \quad (1.26)$$

$$D_x(t_i) = D_x(t_1, t_2, \dots, t_n), \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (1.27)$$

Якщо випадковий процес особливостей не має, то можливо перехід до безперервного аргументу з деяким наближенням.

Математичне очікування й дисперсія дають кількісне подання про випадковий процес у середньому, хоча, вони не дозволяють судити про його характер або внутрішню структуру.

1.2.2 Аналіз методів розрахунків теплових режимів роботи комп'ютерних систем

1.2.2.1 Тепловий захист і фізичні фактори передачі тепла

Як було показано, надійність елементів радіоелектронних апаратів сильно залежить від температури навколишнього середовища. Для кожного типу елемента в технічних умовах вказується гранична температура, при перевищенні якої елемент не можна експлуатувати. Тому одне з найважливіших завдань конструктора КС полягає в тому, щоб забезпечити правильні теплові режими для кожного елемента КС.

Передача теплоти від нагрітого тіла в навколишній простір може здійснюватися за рахунок теплопровідності, конвекції й радіації (випромінювання). Для електрорадіоелементів, що перебувають у повітряному середовищі, конвекція - це перенос теплоти частками повітря, що переміщуються. Схема теплових потоків повітря при природній повітряній конвекції для пристрою КС з кожухом, що має ущільнення, показана на рис. 1.9,а. У цьому випадку передача теплоти від будь-якого

елемента відбувається наступними шляхами:

а) нагріте повітря піднімається нагору, обмиває стінки кожуха, проохолоджується про їх і опускається вниз. Охолоджене повітря знизу надходить у простір, що містить елементи, що виділяють теплоту (природна конвекція);

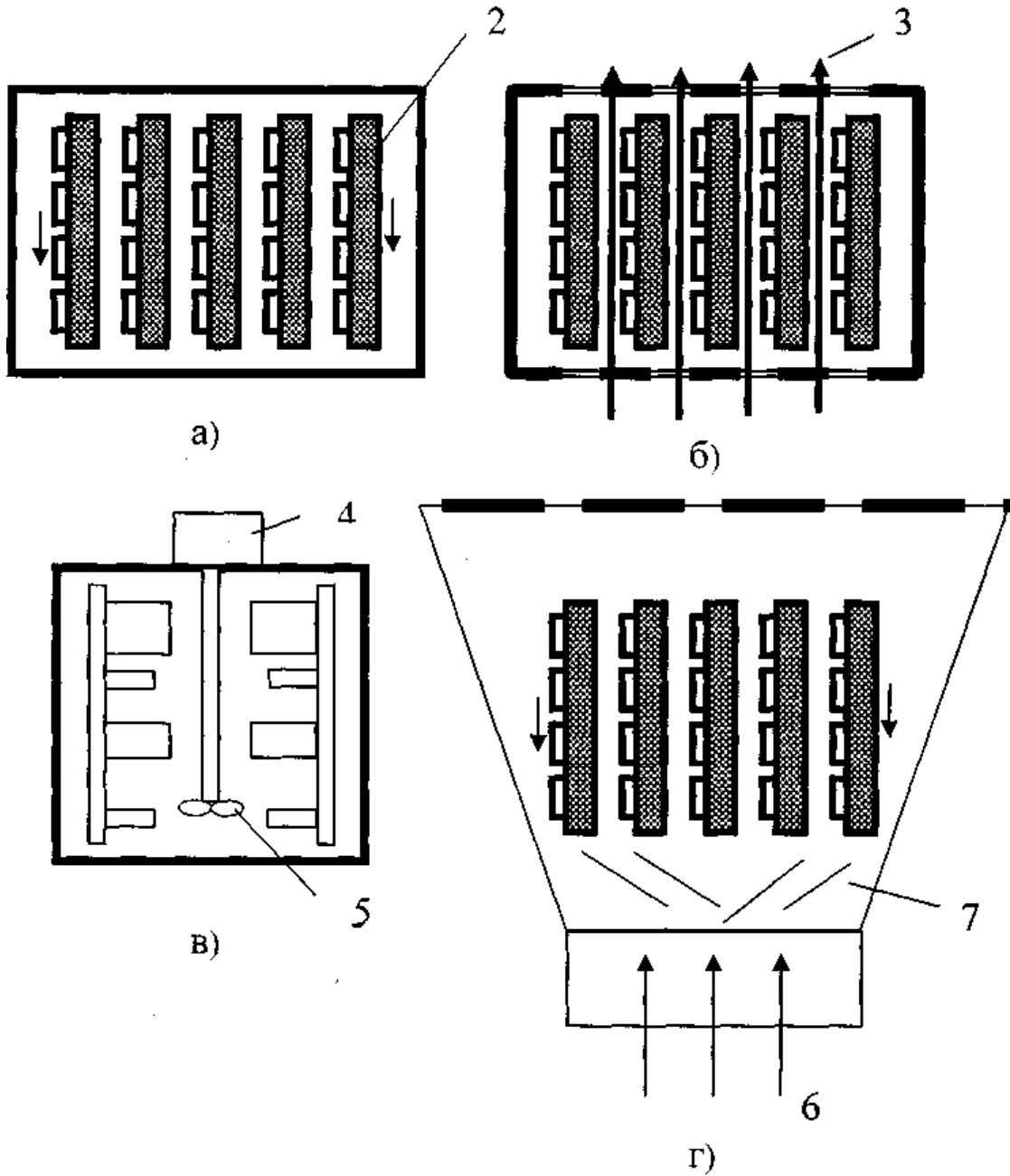
б) по елементах конструкції частина теплового потоку від кожного елемента досягає кожуха (теплопровідність);

в) частина теплового потоку від нагрітого тіла передається кожуху за рахунок радіації.

Вся теплова енергія, отримана кожухом, передається їм у навколишній простір так само за рахунок конвекції, радіації й теплопровідності. У пристроях КС із природною конвекцією повітря часто не вдається одержати необхідних температурних умов для елементів. Тоді доводиться прибїгати до спеціальних заходів щодо зниження температури.

На рис.1.9,б показана схема апарата охолоджуваного за рахунок природної вентиляції. Характерною рисою такого апарата є наявність у кожусі отворів або жалюзі, через які повітря з навколишнього простору може попадати в пристрій. У цьому випадку нагріте повітря, піднімаючись нагору виходить із апарата через отвір у верхній кришці, а на його місце знизу надходить повітря з навколишнього простору, що має більше низьку температуру: навколишнє повітря пронизує апарат знизу нагору. Така схема тепловіддачі значно ефективніше, ніж показана на рис.1.9, а.

Однак не у всіх випадках можна робити отвору в кожусі апарата. Часто через ряд причин конструктор змушений застосовувати кожухи з ущільнення. Якщо зазори між окремими елементами конструкції (наприклад, між друкованими платами) малі, то швидкість повітряного потоку при природній конвекції виявляється так



а - природна циркуляція повітря в кожусі з ущільненням; б - природна циркуляція повітря через кожух з перфорацією; в - примусова циркуляція повітря в кожусі з ущільненням; г - примусова циркуляція «повітря через кожух з перфораціями; 1 -кожух; 2 - плати (шасі) з ЕРЕ; 3 - отвори; 4 - двигун; 5- вентилятор; - уведення від вентилятора; 7 - відбивачі, що розподіляють повітряний потік рівномірно по поперечному перерізі кожуха.

Рисунок 1.9 - Способи охолодження апаратури в КС

само дуже малої кількості теплоти, що віддає тепловиділяючими елементами кожухів. У результаті теплові режими елементів можуть виявитися в неприпустимих межах. У цьому випадку застосовують вентилятори (рис. 1.9,в), що здійснюють перемішування повітря усередині кожуха, що інтенсифікує процес теплопередачі. Однак варто мати на увазі, що установка вентиляторів у малогабаритних пристроях КС може значно збільшити її розміри. Розміщати вентилятор потрібно так, щоб виділювана їм тепла енергія (а вона може бути порівнянна з енергією, виділюваної основними елементами апаратур), не погіршувала теплового режиму апарата. На рисунку 3.3,г показана схема примусової вентиляції апарата, що забезпечує найбільш ефективно охолодження його повітрям: спеціальний вентилятор проганяє через апарат повітря з навколишнього середовища. Така схема найбільш доцільна, якщо пристрій буде встановлено на об'єктах, де є централізована система подачі повітря. У ряді випадків такі централізовані системи подають в апарат осушене і безпильне повітря.

У всіх розглянутих прикладах теплопередача здійснювалася за рахунок використання повітря як теплоносій, за рахунок теплопровідності через елементи конструкції й радіації.

У силу того, що джерела теплової енергії (мікросхеми, транзистори, реле, двигуни й ін.) розподілені по обсязі пристрою нерівномірно й передача теплоти в різних напрямках також відбувається з різною інтенсивністю, точне визначення температури в кожній конкретній точці апарата являє собою складне завдання, що на практиці вирішують наближеними методами. Одним з таких наближених методів, що дозволяють порівняно просто дати оцінку значенню температури усередині пристрою при задовільних погрішностях, є метод нагрітої зони. Сутність його полягає в тім, що частина обсягу пристрою, у якому розташовані тепловиділяючі елементи, замінюється одним або декількома умовними тілами, що мають просту геометричну форму (паралелепіпед, циліндр, куля). Кожне із цих умовних тіл називають нагрітою зоною. Нагріту зону представляють як однорідне тіло з рівномірно розподіленими джерелами енергії, що має однакову температуру поверхні (ізотермічна поверхня). Точно також ізотермічною умовно вважають і

поверхню кожуха, у який укладена нагріта зона.

Розглянемо, від яких фізичних факторів залежить кількість теплоти, передана в результаті процесу теплопровідності, радіації й конвекції.

1.2.2.2 Теплопровідність

Це здатність тіла передавати теплоту від точок з більше високою температурою до точок з більше низькою температурою. Потужність, що віддається за рахунок теплопровідності однорідним тілом, що має постійний поперечний переріз:

$$P_T = \frac{\alpha_T s}{l} \Delta t, \quad (1.28)$$

де α_T - коефіцієнт теплопровідності, що залежить від фізичних властивостей матеріалу, Вт/(м-град); s - площа поперечного переріза тіла, м²; l - його довжина, м; Δt - різниця температур між кінцями теплопровідного тіла, град. Значення α_T для деяких матеріалів наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Значення коефіцієнта теплопровідності

Найменування матеріалу	Вт/(м-град)	Найменування матеріалу	α_T , Вт/(м-град)
Мідь	390	Пластмаса поліхлорвінілова	0,44
Алюміній	208		
Сталь	45	Картон	0,23
Слюда	0,58	Пінопласт	0,05
Повітря	0,025		

Коефіцієнт a/l , що надходить до формули називають тепловою провідністю, а зворотну величину - тепловим опором R_T :

$$R_T = l/(S\alpha_T)$$

Тепер формула (3.31) може бути записана так:

$$P_T = \Delta t/R_T \quad (1.29)$$

Ця формула по своїй структурі аналогічна формулі закону Ома для ланцюга з електричним струмом $I=\Delta U/R$. Використовуючи цю аналогію, можна для розрахунку теплового опору користуватися застосовуваними в електротехніці формулами для паралельного й послідовного включення резисторів. Такий метод зручно використати в тих випадках, коли теплопровідне тіло має неоднорідну структуру.

Найчастіше в процесі передачі теплоти від кожуха пристрою до навколишнього середовища роль теплопровідності незначна. Це пов'язане з тим, що площа теплового контакту s між кожухом і основою, на який він закріплений, завжди в багато разів менше площі кожуха.

Однак, в процесі відводу теплоти від окремих елементів, що розсіюють велику потужність, до розташованих рядом елементів конструкції роль теплопровідності може бути вирішальною.

1.2.2.3 Конвекція

Потужність (Вт), що віддає нагрітою поверхнею за рахунок природної конвекції, може бути визначена по формулі

$$P_k = \alpha_k(t - t_{окр})s, \quad (1.30)$$

де α_k - коефіцієнт теплообміну між поверхнею й навколишнім середовищем, Вт/(м град); t - температура поверхні, град; t_0 - температура навколишнього середовища, град; s - площа нагрітої поверхні, м².

У цій формулі, так само як в (1.27), співмножник $1/(a_k s)$ можна позначити тепловим опором R_T .

Значення a_k залежить від великої кількості факторів.

Залежно від характеру руху теплоносія розрізняють чотири режими теплообміну:

а) Плівковий режим. У поверхні утворюється майже нерухома плівка нагрітого теплоносія. Теплообмін відбувається за рахунок теплопровідності й радіації. Такий режим теплообміну має місце при

$$\alpha_k = A_1 \left(\frac{t - t_{\text{окр}}}{\delta^5} \right)^{1/8}, \quad (1.31)$$

невеликих температурних перепадах для тіл із плавними обрисами.

б) Закон ступеня 1/8

де a_k - коефіцієнт теплообміну, Вт/(м град); A - коефіцієнт, що залежить від фізичних властивостей, температури теплоносія й характеру його руху; t - температура навколишнього середовища, град; d - діаметр стрижня, м.

Такий режим має місце при охолодженні тонких довгих стрижнів. Режим руху теплоносія - ламінарний. Інтенсивність теплообміну - незначна.

в) Закон ступеня 1/4

$$\alpha_k = A_2 \left(\frac{t - t_{\text{окр}}}{L} \right)^{1/4}, \quad (1.32)$$

де A_2 - коефіцієнт, що залежить від фізичних властивостей теплоносія, його температури й характеру руху; L - визначальний розмір тіла (висота циліндра або мінімальний розмір вертикальної стінки).

Інші позначення ті ж, що й в (1.31).

При цьому законі біля охолоджуваних поверхонь відбувається інтенсивне ламінарне й локоноподібні рухи теплоносія. Інтенсивність теплообміну вище, ніж при законі ступеня 1/8.

г) Закон ступеня 1/3

$$\alpha_k = A_3(t - t_{\text{окр}})^{1/3}, \quad (1.33)$$

де A_3 - коефіцієнт, що залежить від фізичних властивостей, температури теплоносія й характеру його руху.

Інші позначення ті ж, що й в (1.32).

При законі ступеня 1/3 характер руху теплоносія - вихровий, теплообмін найбільш інтенсивний.

Для плоских і циліндричних поверхонь характер теплообміну визначається нерівністю

$$t - t_{\text{окр}} \leq (840/L)^3 \quad (1.34)$$

Якщо нерівність виконується, то рух теплоносія підкоряється закону ступеня 1/4 (формула 1.27), якщо не виконується, то закону ступеня 1/3 (формула 1.33).

Значення коефіцієнтів A_2 і A_3 наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Значення коефіцієнтів A_2 і A_3

t	20	40	60	80
A_2	1,38	1,34	1,31	1,29
A_3	1,61	1,53	1,45	1,39

У таблиці 1.5 $t_m = 0,5(t + t_{\text{окр}})$.

Якщо плоска поверхня розташована горизонтально й віддає теплоту нагору, то отримане значення a_k варто помножити на 1,3, якщо поверхня віддає теплоту вниз, то помножити на 0,7.

Вплив тиску може бути враховано множенням отриманого значення a_k на коефіцієнт k_p :

$$k_p = (H/H_0)^{2n}, \quad (1.35)$$

де H — тиск газу, що прохолоджує поверхню, Па; H_0 - нормальний тиск (10^5 Па); n - показник ступеня в (3.36) і (3.37) (1/4 або 1/3).

1.2.2.4 Радіація

Усяке нагріте тіло віддає частину виділюваної в ньому теплоти у вигляді променистої енергії, якщо воно оточено іншими тілами, які не є абсолютно відбиваними. Залежно від конфігурації й розмірів тіл якась частина відбитої енергії попадає назад на теплоізлучающее тіло. Такий процес може повторюватися багаторазово.

Потужність, що віддається нагрітою поверхнею за рахунок променистої енергії, може бути визначена по наступній формулі:

$$P_l = \varepsilon_n C_0 s [(T/100)^4 - (T_{окр}/100)^4], \quad (1.36)$$

де P_l - випромінювана потужність, Вт; ε_n - наведений ступінь чорності; C_0 - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла: $C_0=5,67\text{Вт}/(\text{м}^2\text{град}^4)$; s - поверхня тіла, м ; T - температура нагрітого тіла, К; $T_{окр}$ - температура навколишніх тіл, К.

Коефіцієнт ε_n залежить від відносного ступеня чорності ε теплоізлучающих і навколишніх тіл, а також від їхньої конфігурації й розмірів.

Для більшості застосовуваних покриттів значення ε становить 0,7-0,96. На практиці часто зустрічаються випадки, коли променистий теплообмін іде між двома плоскопаралельні пластинами або коли нагріте опукле тіло із площею поверхні s_1 укладено в оболонку з поверхнею s_2 , причому $s_1 > 0,5s_2$.

Для такої конфігурації тіл і зазначених значень ε наведений ступінь чорності ε_n можна визначити по формулі

$$\varepsilon_n \approx \varepsilon_1 \varepsilon_2, \quad (1.37)$$

де ε_1 і ε_2 , - відносний ступінь чорності нагрітого й навколишнього тел.

Склавши рівняння теплового балансу

$$P = P_T + P_K + P_L, \quad (1.38)$$

де P - потужність, виділювана в нагрітому тілі, Вт; P_T , P_K і P_L - визначені формулами (3.36),(3.25),(3.31), можна визначити стале значення температури нагрівання тіла.

1.2.3 Вплив зміни температури на властивості комп'ютерних систем

Зміна температури впливає на розміри елементів конструкції, механічні властивості конструкційних матеріалів і електричні характеристики електронних елементів. Зміни лінійних розмірів Δl вільно розміщеного елемента є оборотним, а їхня величина пропорційна змінам температури:

$$\Delta l = \alpha_T l \Delta T, \quad (1.39)$$

де α_T - температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР).

Якщо елемент не має змоги подовжуватися, то він деформується. Деформація елемента є оборотною, якщо вона відбувається в межах пружних деформацій і необоротною, якщо перевищує межі пружної деформації. Для стрижня, закріпленого з торців (рис.1.10), прогин

$$\Delta h \approx \sqrt{0,5\Delta l} \quad (1.40)$$

Якщо елемент закріплений так, що він не може подовжуватися й изгибаться, то виникає механічна сила

$$F = ES\alpha_T\Delta T, \quad (1.41)$$

де E - модуль пружності матеріалу елемента; S - площа поперечного переріза елемента.

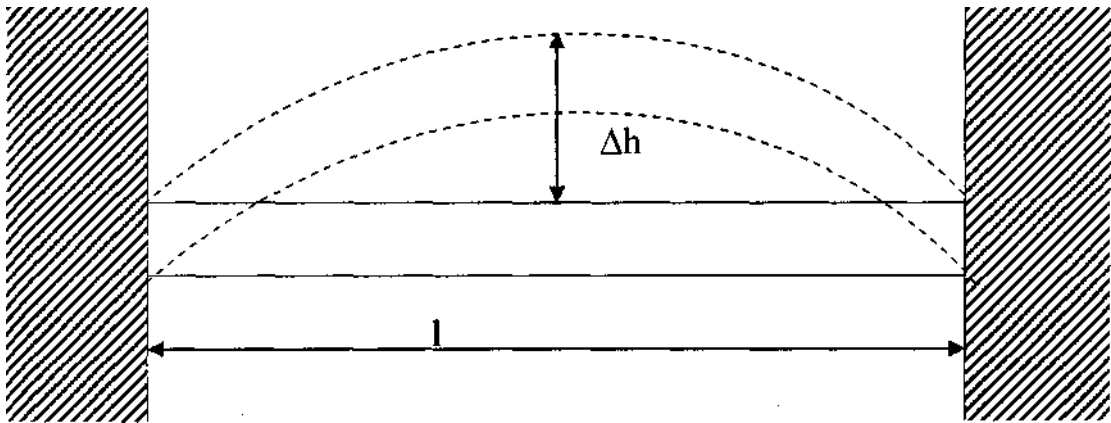


Рисунок 1.10 - Деформація при нагріванні стрижня, закріпленого із двох сторін

У конструкції, що містить два або більше елементи з матеріалів з різними значеннями ТКЛР, з розмірами, сполученими при вихідній температурі, зміна температури приводить до появи внутрішніх механічних

напруг. Величини виникаючих при цьому механічних сил (рис.1.11) визначаються різницею ТКЛР матеріалів деталей конструкції:

$$F_B = -F_A = \frac{E_A E_B S_A S_B}{E_A S_A + E_B S_B} \Delta T (\alpha_{TA} - \alpha_{TB}), \quad (1.42)$$

де E_A й E_B - модуль пружності матеріалу елемента A и B відповідно;

S_A і S_B площа поперечного перерізу елементів A и B відповідно;

α_{TA} й α_{TB} - ТКЛР матеріалів елементів A и B відповідно.

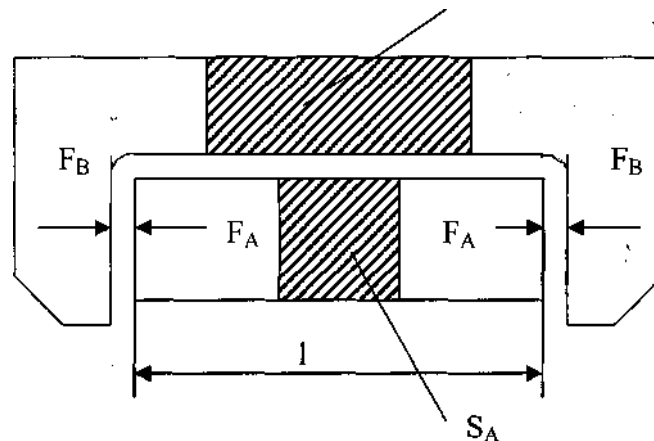


Рисунок 1.11 - Механічні напруги при нагріванні зв'язаних елементів

Якщо ж елементи A и B зроблені з того самого матеріалу або з різних матеріалів з однаковими ТКЛР, то внутрішні напруження в деталі не виникають, якщо температура елементів зберігається однакою. Однак якщо елементи нагріваються нерівномірно, наприклад при наявності внутрішнього джерела теплоти в одному з елементів або інтенсивного охолодження іншого елемента, те навіть при однаковому ТКЛР матеріалів з'являються внутрішні механічні напруги, обумовлені різницею температур елементів:

$$F_B = -F_A = E_A E_B S_A S_B \alpha_T (T_A - T_B) / (E_A S_A + E_B S_B), \quad (1.43)$$

де T_A й T_B - температури елементів A и B відповідно.

При змінах температури незалежно від причин, що викликають їх, температури різних частин конструкції будуть змінюватися неоднаково.

При нагріванні елементи, що мають більшу теплопровідність й меншу теплоємність, будуть нагріватися швидше. Внаслідок цього навіть в елементах, виготовлених з одного матеріалу, виникають внутрішні механічні напруги, що приводять до деформацій.

Температурні деформації можуть приводити до порушення працездатності елементів конструкції й радіоелементів, руйнуванню зварених і клейових з'єднань, обривам провідників на друкованих платах і усередині ІС, транзисторів, конденсаторів. При підвищенні температури погіршуються механічні властивості більшості діелектриків, металів і їхніх сплавів. У металів з підвищенням температури знижуються модуль пружності й межа міцності, однак ці явища в металах стають помітними при температурах понад 200-500°C, тому при конструюванні мікроелектронних пристроїв температурними змінами механічних властивостей металів можна зневажати, але варто враховувати прискорення корозії металів при підвищенні температури.

Теплостійкість ізоляційних матеріалів істотно нижче і її необхідно враховувати при конструюванні. Підвищення температури приводить до виділення летучих речовин, до необоротних змін електричних характеристик і зниженню механічних властивостей. Надмірне зниження температури також небажано, тому що у всіх матеріалів знижується пластичність, з'являється крихкість, підвищується в'язкість мастильних рідин. При замерзанні вологи з'являються мікротріщини, знижується міцність. Зниження температури нижче 0 °C и підвищення температури вище 35° C приводять до зниження надійності роботи радіоелементів. Орієнтовно можна вважати, що при підвищенні температури на 10 °C знижується надійність на 15-20% .

1.2.4 Основні методи розрахунку

Базовим виразами для розрахунку теплопередачі будь-яким методом є вираз (1.38).

$$P = P_T + P_K + P_L$$

Вирішити отримане рівняння відносно t (або Δt) у явному виді не вдається, тому його доводиться вирішувати методом послідовних наближень.

1.2.4.1 Коефіцієнтний метод розрахунку теплових режимів

Щоб скористатися формулою (1.33), необхідно знати числові значення коефіцієнтів теплообміну, які часто бувають невідомі для складних по конфігурації конструкцій, що зустрічаються в КС. Тому в практиці конструювання для розрахунків теплових режимів часто використовують наближені коефіцієнтні методи розрахунку, що дозволяють швидко й із прийнятною погрішністю (порядку 25-30%) визначити середньповерхносний перегрів нагрітої зони пристрою ОТ.

Сутність методу полягає в тому, що шукану температуру перегріву представляють у вигляді добутку:

$$\Delta t = \Delta t_p k_1 k_2 \dots k_n, \quad (1.44)$$

де Δt - шукана середньповерхностна температура перегріву нагрітої зони;

Δt_p - базовий перегрів, обумовлений потужністю, що доводиться на одиницю поверхні нагрітої зони °С; $\partial_1 \partial_2 \dots \partial_n$ - коефіцієнти, що враховують різні фактори, що впливають на умови теплообміну, причому кожний коефіцієнт залежить тільки від одного параметра.

Для різних, що часто зустрічаються на практиці випадків заздалегідь розраховані графіки, по яких можна визначити всі перебувають в (1.44) співмножники.

1.2.4.2 Визначення розмірів і параметрів нагрітої зони

Для спрощеної теплової моделі, коли обчислюється середньоповерхносна температура нагрітої зони, визначити її еквівалентні розміри можна по наступних формулах.

Обсяг пристрою (м^3)

$$V_{an} = L_1 L_2 h, \quad (1.45)$$

де L_1 та L_2 - розміри нижньої стінки корпусу, м; h - висота корпусу, м.

Обсяг деталей V_d дорівнює сумі обсягу шасі й обсягів всіх деталей, установлених на ньому.

Для апарата касетної конструкції обсяг деталей дорівнює сумі обсягів всіх плат і всіх деталей, установлених на них.

Коефіцієнт заповнення обсягу апарата

$$k_3 = V_d / V_{an} \quad (1.46)$$

Наведений розмір основи нагрітої зони

$$l_{пр} = \sqrt{L_1 L_2} \quad (1.47)$$

Наведена висота нагрітої зони

$$h_3 = h k_3. \quad (1.48)$$

Наведена висота повітряного зазору (м) між нагрітою зоною й кожухом

$$h_1 = (h - h_3) / 2 \quad (1.49)$$

Геометричний фактор

$$k_{\Gamma} = h_1/l_{\text{пр}}, \quad (1.50)$$

де $l_{\text{пр}}$ визначено формулою (1.47).

Поверхня корпусу апарата

$$S_k = 2(L_1L_2 + L_1h + L_2h), \quad (1.51)$$

Наведену поверхню нагрітої зони можна обчислити по формулі

$$S_3 = 2l_{\text{пр}}(l_{\text{пр}} + 2h_3) \quad (1.52)$$

Питома поверхнева потужність корпусу й нагрітої зони може бути обчислена по формулах

$$P_{\text{уд.к}} = P/S_k, \quad (1.53)$$

$$P_{\text{уд.з}} = P/S_3, \quad (1.54)$$

де P - потужність, виділювана в корпусі або нагрітій зоні, S - поверхня, м^2 .
Залежно від орієнтації шасі в кожусі будемо розрізняти нагріту зону з горизонтальної й вертикальної орієнтації.

Для апаратів касетної конструкції орієнтацію нагрітої зони вважають вертикальної, якщо в зазорах між касетами існує теплоперенос за рахунок конвективних потоків повітря.

Поверхня нагрітої зони, що складає з декількох касет:

$$S_{31} = 2(L_xL_y + L_xL_z + L_zL_y), \quad (1.55)$$

де L_x, L_y, L_z виражені в м;

S_{31} - в м^2 .

Наведена висота деталей, розміщених на касеті:

$$h_{\text{пр}} = V_{\text{д}}/(L_xL_z), \quad (1.56)$$

де $V_{\text{д}}$ - сума обсягів всіх деталей, розташованих на касеті, м^3 .

Приведена товщина касети:

$$\delta_{\text{пр}} = \delta + h_{\text{пр}}, \quad (1.57)$$

де δ - товщина друкованої плати, на якій закріплені деталі, м.
Наведена товщина (м) зазору між касетами:

$$b_{\text{пр}} = b - h_{\text{пр}}, \quad (1.58)$$

де b - відстань між друкованими платами, м.
Площа (м²) поверхонь касет, звернених друг до друга:

$$S_{32} = 2L_x L_y (m - 1), \quad (1.59)$$

де m - число касет.

Площа поверхонь плат, що випромінюють променевою енергією у бік кожуха;

$$S_{33} = 2[L_x L_y + m\delta_{\text{пр}}(L_x + L_z)], \quad (1.60)$$

де m - число касет.

1.2.4.3 Розрахунок середньої поверхневої температури корпусу апарата

Середня поверхнева температура корпусу апарата t_k може бути знайдена по формулі

$$t_k = t_{\text{окр}} + \Delta t_k, \quad (1.61)$$

де $t_{\text{окр}}$ – температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_k - середнеповерхностний перегрів корпусу (3), якому можна знайти по формулі:

$$\Delta t_k = \Delta t_p k_s k_l k_\varepsilon k_H \quad (1.62)$$

У формулі (1.63) базовий перегрів Δt_p залежить від питомої потужності $P_{\text{удк}}$, а коефіцієнти k_s залежать відповідно від площі поверхні корпусу апарата S_k , температури навколишнього середовища $t_{\text{окр}}$, ступеня відносної чорності поверхні ε_n і тиску повітря H .

Всі вхідні у вираження (1.63) співмножники приводяться звичайно у вигляді графіків, у літературі.

1.2.4.4 Розрахунок середньоповерхневої температури нагрітої зони

Середньоповерхневу температуру нагрітої зони можна обчислити по формулі

$$t_3 = t_k + \Delta t_3, \quad (1.63)$$

де t_k - середня температура корпусу, град;

Δt_3 - перевищення середньої температури нагрітої зони над температурою корпусу, $^{\circ}\text{C}$;

$$\Delta t_3 = \Delta t_{p/3} k_{lnn} k_{k3} k_h k_{k\Gamma} k_{\varepsilon\Pi} k_{tk} k_H \quad (1.64)$$

Параметри $l_{np}, k_3, k_2, \varepsilon_\Gamma$ визначені попередніми формулами.

Висота корпусу h і тиск повітря H повинні бути відомі конструкторові; t_k - середня температура корпусу, у який поміщений апарат; $tp.3$ залежить від $P_{уд}$. Відповідні коефіцієнти $t_{p/3}$ можна знайти по графіках в літературних джерелах.

1.2.4.5 Наближена оцінка середньоповерхневої температури пристроїв з вертикальною орієнтацією нагрітої зони

а) Кожух з ущільненням. Оцінка зазначених параметрів може бути зроблена з погрішністю порядку $\pm 40\%$ по наведеним далі формулах. Середній перегрів корпусу в порівнянні з температурою навколишнього середовища ($^{\circ}\text{C}$)

$$\Delta t_k = P / (9S_k), \quad (1.65)$$

де P - виділена в пристрої потужність, Вт; S_k - площа поверхні корпусу, м^2 .

Середній перегрів поверхні касет над температурою навколишнього середовища ($^{\circ}\text{C}$)

$$\Delta t_{\text{пер}} = \Delta t_k (1 + CA), \quad (1.66)$$

де

$$A = 1 + \frac{S_k}{S_{33} + \frac{0,055}{b_{32}}},$$

$$C = \frac{4,55S_k}{S_k + 3S_{31}A} \quad (1.67)$$

Вхідні в ці формули параметри $S_k, S_{31}, S_{32}, S_{33}$ и $b_{пр}$ визначені попередніми формулами

б) Кожух з перфораціями. Для обліку впливу перфорацій на

температуру перегріву варто обчислити коефіцієнт перфорації

$$k_{\Pi} = S_0 / (L_1 L_2), \quad (1.68)$$

де S_0 – сумарна площа, m^2 (передбачається, що площа отворів у дні й кришці однакова); L_1 і L_2 – розміри дна кожуха, м.

Після цього за графіком, наведеному на рис.1.12 можна знайти коефіцієнт α . Серднеповерхнева температура перегріву з урахуванням впливу перфорації

$$\Delta t_{\text{кас.п}} = \alpha \Delta t_{\text{кас}}, \quad (1.69)$$

де $\Delta t_{\text{кас}}$ – середнеповерхнева температура касет.

Обчислене по наведених формулах значення перегріву характеризує середню температуру нагрітої зони, але ніяким чином не характеризує температуру в будь-якій її крапці.

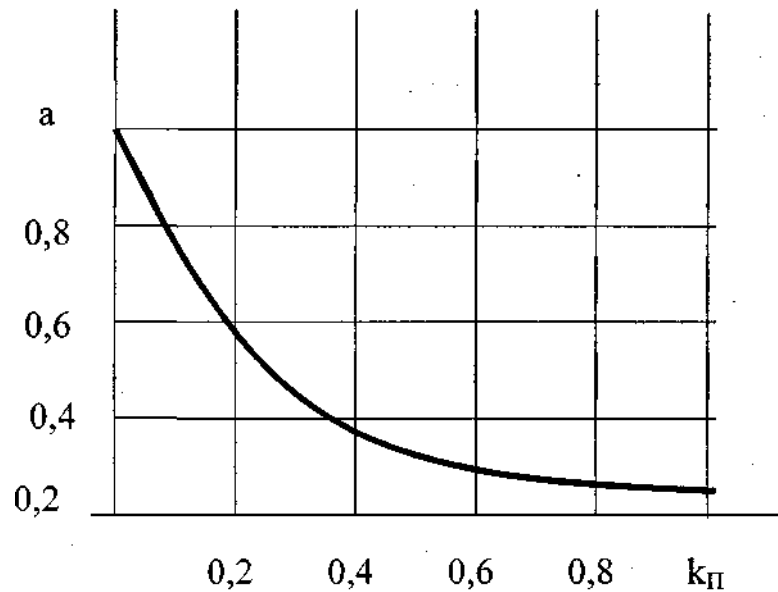


Рисунок 1.12 - Залежність теплообміну конвекцією від коефіцієнта перфорації.

1.3 Основні існуючі алгоритми розрахунків

Класичні приклади алгоритмів для розрахунку теплових режимів можуть служити алгоритми програм NIK11 і NIK31, наведені в літературі [4].

Програма NIK11 призначена для розрахунку теплового режиму блоку із природним повітряним охолодженням, програма NIK31 - для блоку із примусовим повітряним охолодженням. Блок-схема алгоритму програми NIK31 наведена на рисунку 1.13. Програма дозволяє робити розрахунок з різними варіантами вихідних даних. Наприклад, якщо відомі потужність, споживана блоком, і тип вентилятора, то можна розрахувати середньповерхневу температуру нагрітої зони, температуру повітря на виході із блоку й середню температуру повітряного потоку.

Якщо задані припустима температура нагрітої зони й тип вентилятора, то можна розрахувати припустиму максимальну потужність, що розсіює блоком. Якщо задані розсіює потужність, що, і припустима температура нагрітої зони, то можна розрахувати необхідна витрата повітря й вибрати тип

вентилятора. Програма дозволяє також розраховувати температуру окремих теплонагружених елементів.

Спрощена блок-схема алгоритму програми NIK11 наведена на рисунку 1.14. Розрахунок теплового режиму проводиться методом послідовного наближення. В NIK11 програма сама автоматично робить ітерації.

З метою спрощення зображення алгоритму на функціональній схемі не зазначені процедури запису результатів розрахунку у файл даних. Програма дозволяє по закінченні роботи роздрукувати результати розрахунку.

У процедурі 8 алгоритму програми NIK11 проходить внутрішній цикл вирівнювання потужностей, переданих від нагрітої зони повітряному потоку й виноси повітряному потоку.

У програмах для теплового розрахунку значення табличних коефіцієнтів A_1 - A_3 аппроксимировані наступними вирази:

$$A_1 = 0,291 + 0,24 \cdot 10^{-3}(T_{\text{оп}} - 273); \quad (1.70)$$

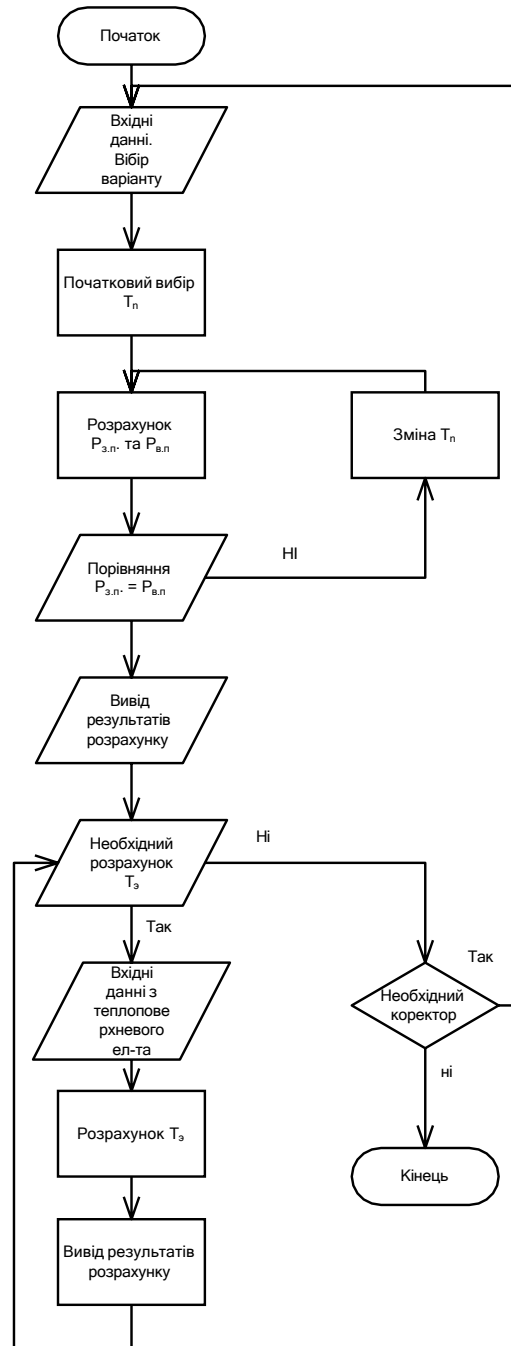
$$A_2 = 1,24 + 0,286 \exp(-0,013(T_{\text{оп}} - 273)) - 0,086 \quad (1.71)$$

$$\exp(-0,0059(T_{\text{оп}} - 273));$$

$$A_3 = 1,67 - 3,5 \cdot 10^{-3}(T_{\text{оп}} - 273) \quad (1.72)$$

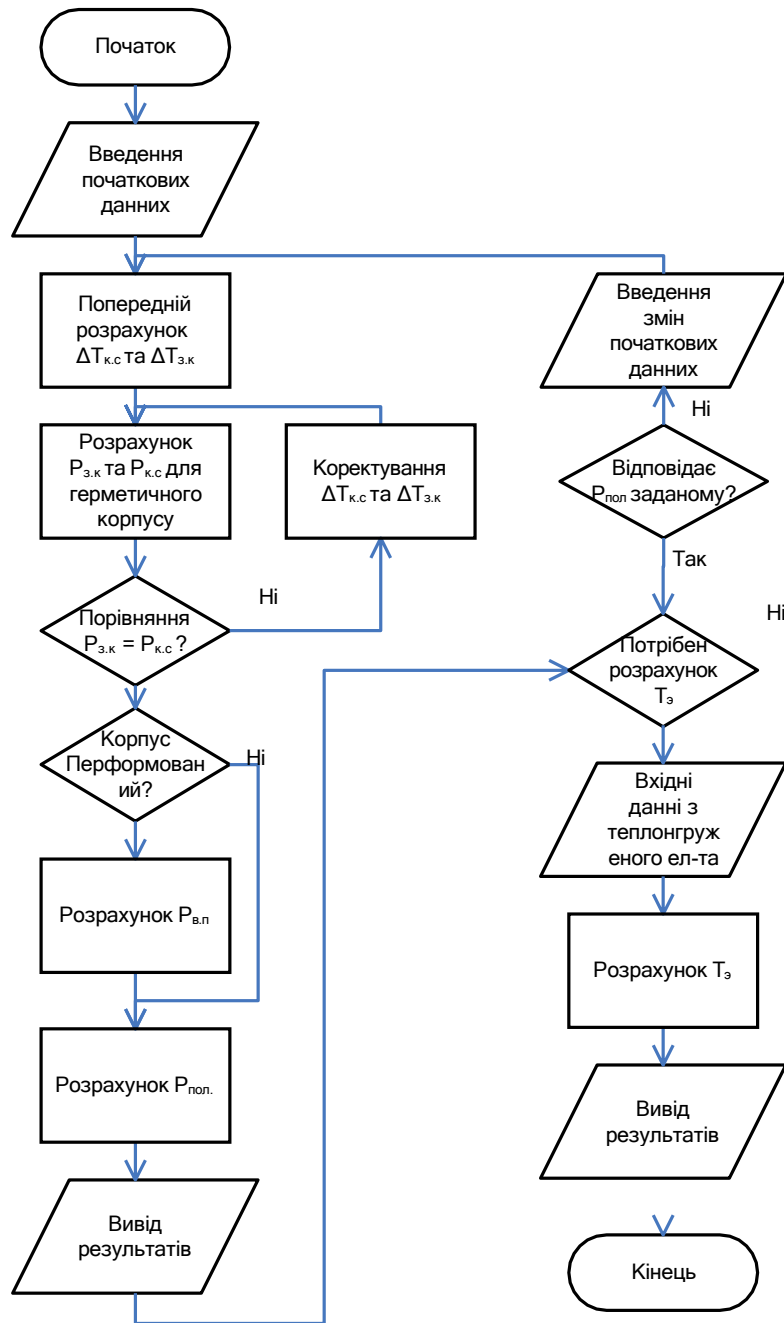
Програма видає значення повної потужності, що розсіює блоком, подає додаткову інформацію про значення потужності, що розсіює горизонтальними й вертикальними поверхнями, і потужності, переданої випромінюванням і виведеної повітряним потоком у перфорованому корпусі.

Отримані результати дозволяють перевірити, як зміниться тепловий режим блоку при зміні форми корпусу або його габаритів.



T_{π} - температура повітряного потоку; $P_{з.п.}$ - потужність, передана нагрітою зоною повітряному потоку; $P_{в.п.}$ - потужність, що виносить повітряним потоком; T_z - температура теплонавантаженого елемента.

Рисунок 1.13 - Схема алгоритму програми NIK31



$P_{з.к.}$, $P_{к.с.}$ - потужності, передані від нагрітої зони корпусу й навпаки; $\Delta T_{к.з}$ і $\Delta T_{з.к.}$ - температури перегріву корпус-середовище й зона-корпус; $P_{пол.}$ - повна потужність, що розсіює блоком.

Рисунок 1.14 - Схема алгоритму програми NIK11

1.4 Висновки до першого розділу

За результатами роботи, проведенною у першому розділі, можна зробити такі висновки:

- а) максимальна частка помилок в процесі експлуатації КС доводиться на стадію проектування цих систем (до 40% від всіх помилок);
- б) основна частина відмов (близько 70%) викликана суб'єктивними факторами;
- в) однією з основних причин відмов у процесі експлуатації є теплові впливи не враховані при виборі режимів роботи елементів і виборі конструктивних рішень на стадії проектування;
- г) існуючі методики для визначення теплових режимів вузлів і елементів КС, що є базою для створення систем діагностування мають ряд недоліків:
 - по-перше, розрахунки ведуться по складних залежностях;
 - по-друге, практично всі методики можна використати в певному діапазоні зміни температур;
 - по-третє, як правило, методики теплового розрахунку блоку й окремих елементів цього ж блоку - різні;
- д) необхідно розробити відповідне методичне, алгоритмічне й програмне забезпечення для розрахунку теплових режимів КС із урахуванням вищеперелічених недоліків;

2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ НА НАДІЙНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ

2.1 Розробка основних вимог до методик та алгоритмів теплових розрахунків

Проведений аналіз існуючих методів теплових розрахунків показав, що існує ряд методик теплових розрахунків окремих вузлів і блоків КС. При цьому:

- по-перше, розрахунки ведуться по складних залежностях;
- по-друге, практично всі методики можна використати в певному діапазоні зміни температур;
- по-третє, як правило, методики теплового розрахунку блоку й окремих елементів цього ж блоку - різні.

Виходячи зі зроблених висновків і основних завдань, сформульованих у першому розділі даної роботи, згідно обраним шляхом реалізації цих завдань, вимоги до методик теплового розрахунку й алгоритму цих розрахунків варто формулювати в такий спосіб:

- а) у процесі теплового розрахунку забезпечити розрахунок теплового рішення як у герметичному корпусі так і в перфорованому;
- б) у процесі теплового розрахунку визначити:
 - температуру (перегрів) корпусу;
 - температуру (перегрів) зони;
 - температуру (перегрів) елемента;
- в) алгоритм визначення всіх перерахованих параметрів теплового режиму повинен бути єдиним;
- г) у процесі розрахунку замінити (з достатнім ступенем точності) складні математичні залежності на більше прості - електричні;

д) забезпечити достовірний і мінімізований за часом алгоритм теплових розрахунків.

е) забезпечити послідовність виведеної інформації результатів розрахунку.

2.2 Розробка методики розрахунків

2.2.1 Розрахунок теплового режиму блоку в герметичному корпусі

Визначальними параметрами для розрахунку є питомі потужності розсіювання блоку в цілому g_k і нагрітої зони g_3

$$g_k = k_p P / S_k \quad (2.1)$$

$$g_3 = k_p P / S_3, \quad (2.2)$$

де P - споживана блоком потужність, Вт; $k_p = (0,8-0,9)$ - коефіцієнт розсіювання споживаної потужності; S_k - площа поверхні корпусу, м²; S_3 - умовна поверхня нагрітої зони, м.

$$S_k = 2[L_1 * L_2 + (L_1 + L_2) * L_3], \quad (2.3)$$

$$S_3 = 2[L_1 * L_2 + (L_1 + L_2) * L_3 * k_3], \quad (2.4)$$

де L_1, L_2, L_3 - відповідно довжина, ширина основи блоку і його висота;

$k_3 = (0,1-0,5)$ - коефіцієнт заповнення обсягу.

У загальному випадку перегрів корпусу герметичного блоку, що працює в нормальних умовах, щодо навколишнього середовища визначається залежністю

$$Q_1 = 0,1472g_k - 0,2982 \cdot 10^{-3} \cdot g_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot g_k^3 \quad (2.5)$$

Перегрів нагрітої зони визначається аналогічною залежністю

$$Q_2 = 0,139g_3 - 0,1123 \cdot 10^{-3} \cdot g_3^2 + 0,698 \cdot 10^{-5} \cdot g_3^3 \quad (2.6)$$

Зміна атмосферного тиску зовні корпусу впливає на перегрів корпусу блоку щодо температури навколишнього середовища, а усередині корпусу - на перегрів нагрітої зони щодо корпусу блоку.

Виходячи із цього, перегрів нагрітої зони в загальному випадку визначається виразом

$$Q_3 = Q_1 * k_{H1} + (Q_2 - Q_1) * k_{H2}, \quad (2.7)$$

де перший доданок є перегрів корпусу

$$Q_k = Q_1 k_{H1} \quad (2.8)$$

коефіцієнт k_m - визначається тиском повітря зовні блоку

$$k_{H1} = 0,82 + 1/(0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} H_1), \quad (2.9)$$

а коефіцієнт k_{H2} залежить від тиску середовища усередині блоку

$$k_{H2} = 0,8 + 1/(1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5} H_2), \quad (2.10)$$

де H_1 і H_2 - атмосферний тиск, МПа, відповідно зовні й усередині блоку.

Залежності (2.7), (2.8), (2.9), (2.10) справедливі в наступних діапазонах зміни вихідних даних:

$$\begin{aligned} 0 < g_a < 600 \text{ Вт/м}^2 \\ 0 < g_k < 400 \text{ Вт/м}^2 \\ 700 < H < 1,2 \cdot 10^5 \text{ Па} \end{aligned}$$

За отриманим даними визначають перегрів повітря в блоці

$$Q_B = 0,5(Q_k + Q_3), \quad (2.11)$$

середню температуру повітря в блоці (приладі)

$$T_B = Q_B + T_c, \quad (2.12)$$

температуру корпусу блоку

$$T_k = Q_k + T_c \quad (2.13)$$

і температуру нагрітої зони

$$T_3 = Q_3 + T_c, \quad (2.14)$$

де T_c - температура навколишнього середовища.

Температурний режим окремих теплонагружених елементів залежить, у першу чергу, від питомої потужності елемента, що розсіюється

$$g_{эл} = P_{эл}/S_{эл} \quad (2.15)$$

і питомої розсіювати потужності, що, нагрітої зони g_3 , що розсіюється.

Виходячи із цього, перегрів поверхні елемента визначається залежністю

$$Q_{эс} = Q_B(0,75 + 0,25g_{эл}/g_3) \quad (2.16)$$

а перегрів навколишній елемент середовища

$$Q_{эс} = Q_B(0,75 + 0,25g_{эл}/g_3) \quad (2.17)$$

З використанням результатів (5.16) і (5.17) визначається температура поверхні елемента

$$T_{эл} = Q_{эл} + T_c \quad (2.18)$$

і температура навколишній елемент середовища

$$T_{эс} = Q_{эс} + T_c \quad (2.19)$$

Отримані оцінки (5.13), (5.14), (5.18) порівнюють із заданими в завданні й ТУ на елементи. При необхідності вносять зміни в конструкцію блоку або застосовують радіатори.

Величини (5.12), (5.19) використовуються при необхідності апаратного контролю теплового режиму блоку або окремих елементів.

2.2.2 Тепловий режим блоку в перфорованому корпусі

Наявність перфораційних отворів ураховується коефіцієнтом, що залежить від відносної площі перфорованих отворів

$$p = S_{п}/L_1L_2, \quad (2.20)$$

де S_n - сумарна площа перфораційних отворів.

За результатами експериментальних досліджень установлена залежність

$$k_{п} = 0,29 + 1/(1,41 + 4,95p), \quad (2.21)$$

справедлива в діапазоні значень $0 < \rho < 0,8$. Виходячи із цього визначення перегрів корпусу блоку

$$Q_k = Q_1 0,93 k_{H1} k_i \quad (2.22)$$

перегрів нагрітої зони

$$Q_3 = 0,93 k_{\Pi} [Q_1 k_{H1} + (Q_2 / 0,93 - Q_1) k_{H2}] \quad (2.23)$$

і середній перегрів повітря в блоці

$$Q_B = 0,6 Q_3 \quad (2.24)$$

З урахуванням отриманих результатів визначаються теплові параметри блоку по (2.12), (2.13), (2.14) і окремих елементів (2.15)-(2.19).

2.3 Розробка алгоритму розрахунків

2.3.1 Загальний підхід

За обраною методикою було розроблено загальний алгоритм розрахунків, схема якого наведена на рисунку 2.1:

Загальна частина алгоритму включає до себе уведення таких вихідних даних у програму розрахунку:

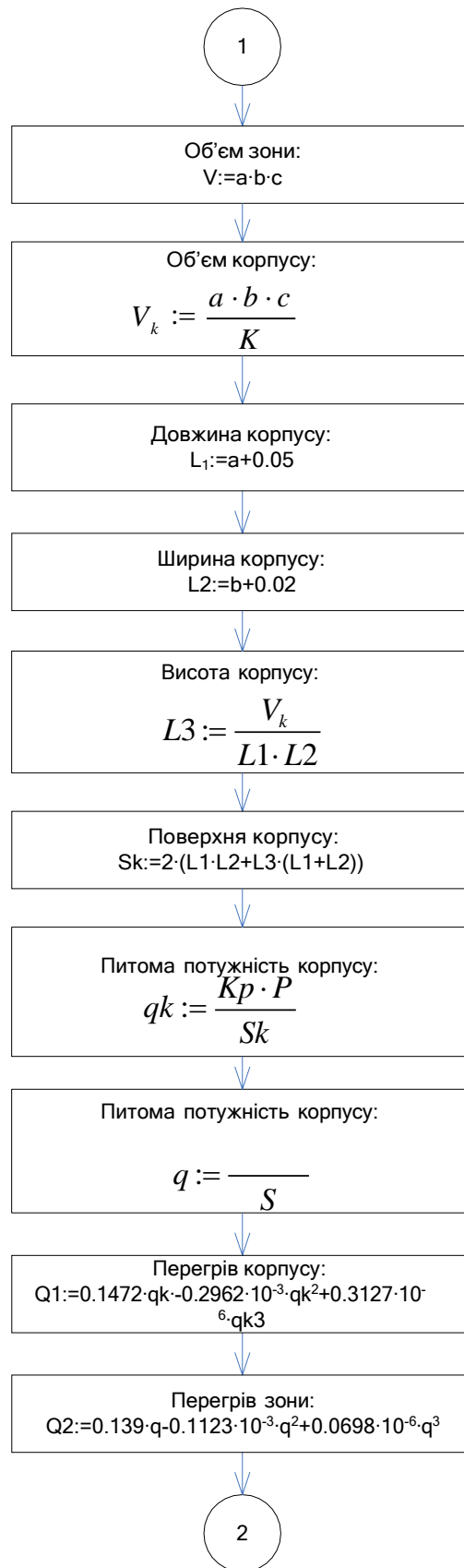
- висоти, ширини й довжини модуля;
- споживаної потужності;
- коефіцієнта розсіювання потужності;
- коефіцієнта заповнення обсягу;
- тиску усередині й зовні блоку;
- температури середовища;
- кількості елементів.

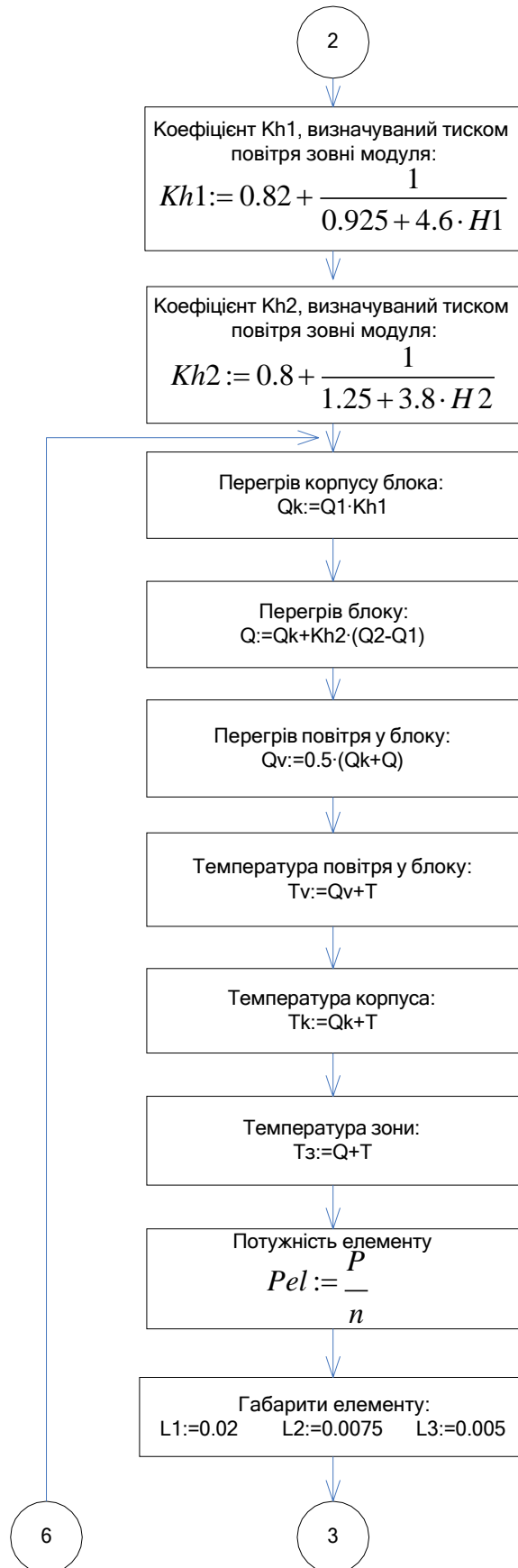
2.3.2 Розрахунок теплового режиму в герметичному корпусі

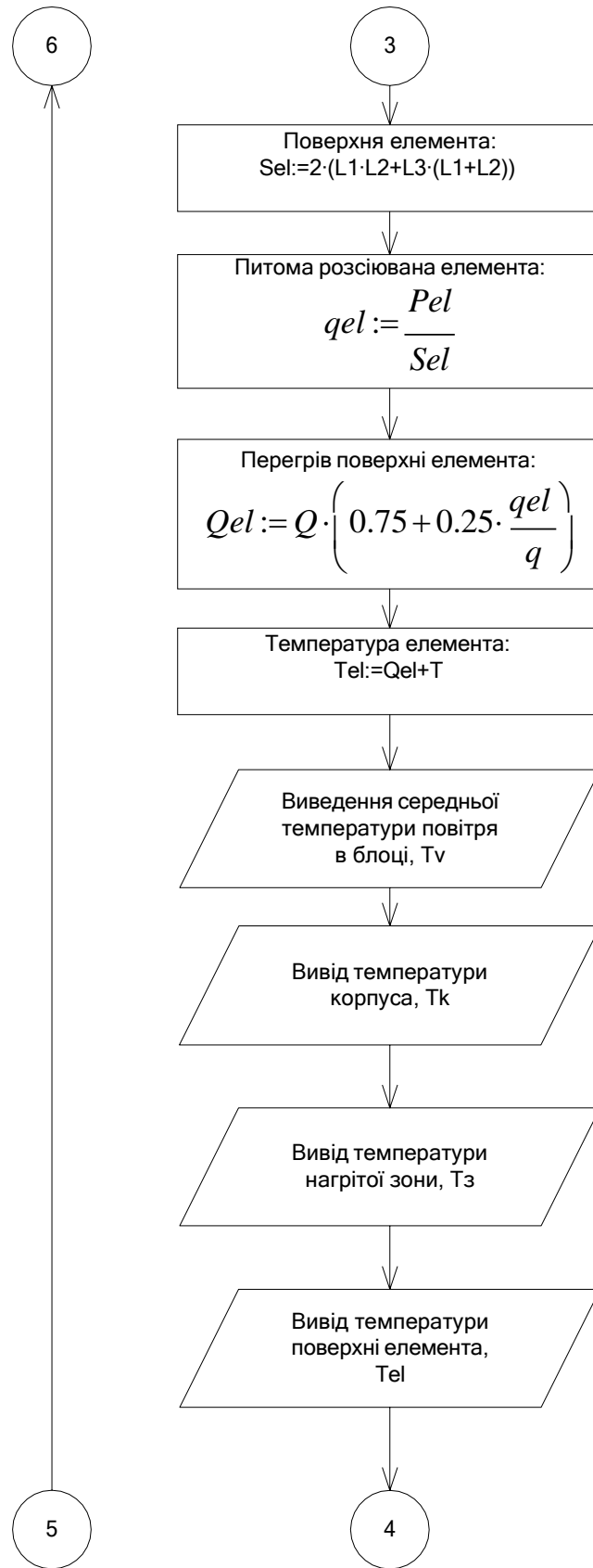
Виконуємо в наступній послідовності. Визначимо величину:

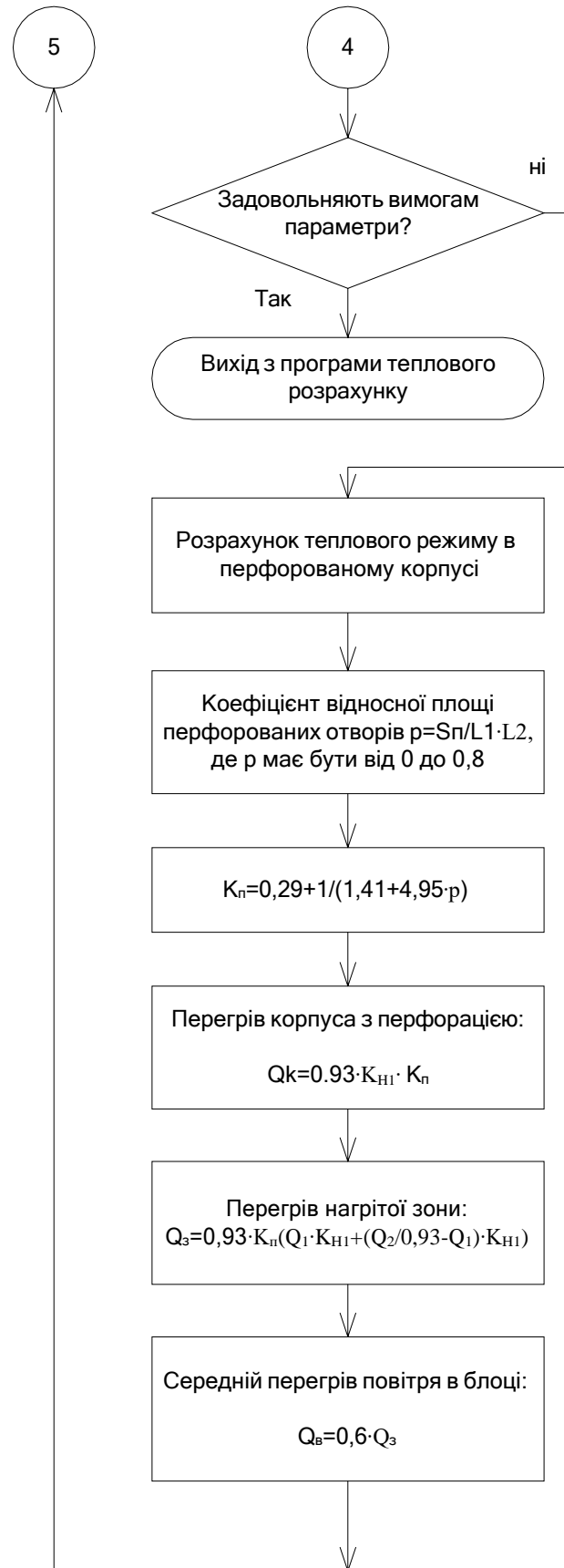
- Поверхні зони;
- Обсягу зони;
- Обсягу корпусу;
- Довжини корпусу;
- Ширини корпусу;
- Висоти корпусу;
- Поверхні корпусу;
- Питомої потужності корпусу;
- Питомої потужності зони;
- Перегріву корпусу;
- Перегріву зони;
- Коефіцієнта Kh_1 , обумовленого тиском повітря зовні модуля;
- Коефіцієнта Kh_2 , обумовленого тиском повітря усередині модуля;
- Перегріву корпусу блоку;
- Перегріву блоку;











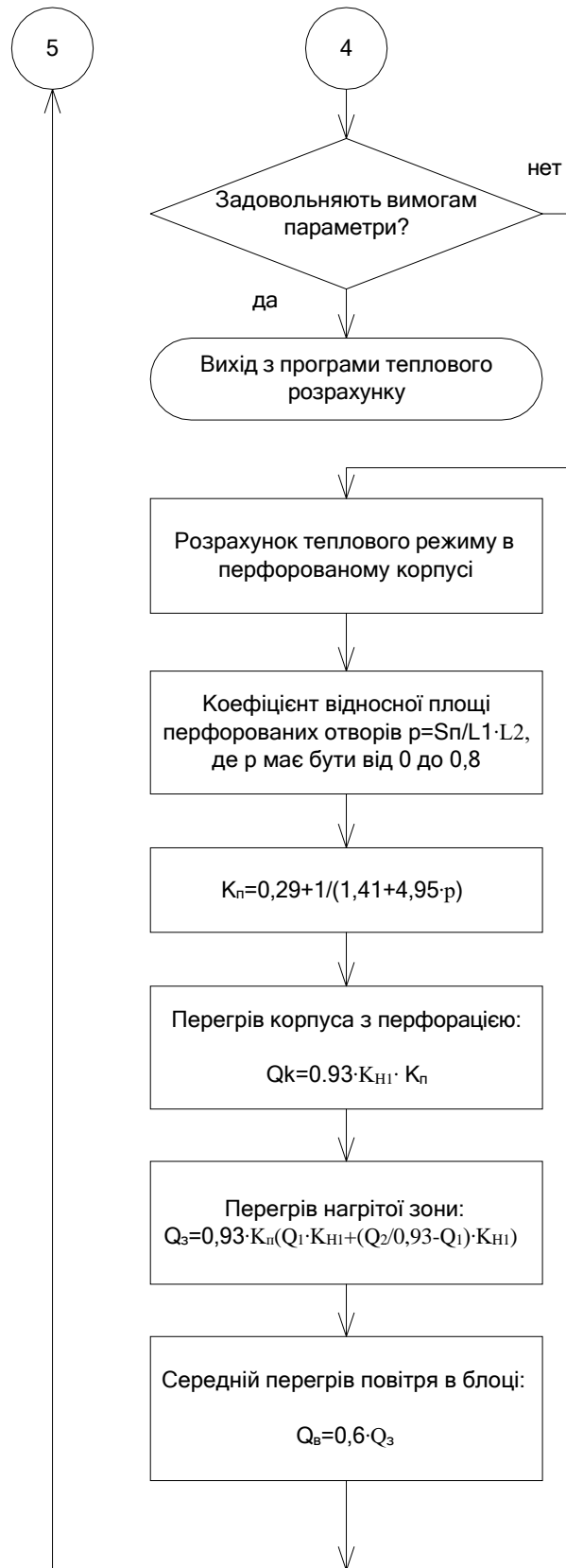


Рисунок 2.1 - Загальний алгоритм розрахунків теплових режимів герметичних та перфорованих блоків КС

- Перегріву повітря в блоці;
- Температури повітря в блоці;
- Температури корпусу;
- Температури зони;
- Потужності елемента;
- Габаритів елемента;
- Поверхні елемента;
- Удільної розсіюваної потужності елемента;
- Перегріву поверхні елемента;
- Температури елемента;

Далі забезпечується:

- Вивід середньої температури повітря в блоці;
- Вивід наступних розрахункових параметрів:
- Вивід середньої температури повітря в блоці;
- Вивід температури корпусу;
- Вивід температури нагрітої зони;
- Вивід температури поверхні елемента;

2.3.3 Перевірка виконання умов теплового режиму й розрахунок режиму роботи пристрою в перфорованому корпусі

Якщо буде потреба режиму роботи пристрою в перфорованому корпусі то при цьому визначається:

- Коефіцієнта відносної площі перфорованих отворів;
- Перегріву корпусу з перфорацією;
- Перегріву нагрітої зони;
- Середнього перегріву повітря в блоці.

2.4 Вибір та обґрунтування мови програмування і написання програми

2.4.1 Вимоги до програмних засобів

Програмні засоби для контролю і розрахунків теплових режимів роботи КС:

- зручний і простий у використанні інтерфейс програми;
- наочність виведеної інформації;
- можливість порівняння отриманих у результаті дослідження даних;
- досить точні дані, отримані в результаті експерименту;

2.4.2 Аналіз можливостей мов програмування, вибір середовища розробки і написання програми

На підставі проведеного огляду літератури по мовах програмування можна виділити такі особливості засобів розробки Windows додатків:

- всі вони призначені для розробки додатків Windows;
- що стосується екранного інтерфейсу найбільш простим і зручним є інтерфейс Visual Basic, але взагалі це не грає вирішальної ролі при розробці програми;
- при розгляді можливостей по створенню додатків кожного пакета можна виділити те, що Delphi і C++ Builder мають практично рівні можливості, а от Visual Basic, через свою простоту, багато в чому їм уступає;
- всі програми мають дуже потужний компілятор або інтерпретатор. Варто виділити особливості інтерпретатора Visual Basic, що дозволяє проводити вибірккову трансляцію вихідного коду програми. У той же час компілятор C++ Builder має кілька помилок.

Таким чином, можна зробити вивід, що середовище розробки додатків Visual Basic 6.0, для рішення поставленого завдання розробки найбільш прийнятні,

- Visual Basic розроблений, як і ОС Windows корпорацією Microsoft, а, отже, найбільше повно реалізує можливості, як системи так і комп'ютера; .

- Visual Basic є дуже потужною й одночасно простий і гнучким середовищем розробки Windows додатків;

- має безліч готових компонентів службовців для раціонального й швидкого створення додатків.

Таким чином, програму для розрахунків теплових режимів комп'ютерних систем, слід розробляти в середовищі Visual Basic.

Така програма була розроблена і повністю наведена в додатку А.

На рисунках 2.2, 2.3, 2.4 наведені вікна цієї програми.

2.5 Визначення впливу теплових режимів роботи електронних блоків комп'ютерних систем контролю та діагностики на характеристики їх надійності

У першому розділі даної магістерської роботи було показано, що температурні режими визначають зміну температури в часі всіх електрорадіоелементів КС і є параметричними функціями. Найбільш розробленою теорією, що дозволяє описувати параметричні функції, є теорія випадкових процесів [21]. Там же доведено, що основною розрахунковою характеристикою на стадії проектування є ймовірність безвідмовної роботи P .

Однак, як показано в першому розділі даної магістерської роботи на стадії експлуатації основною мірою надійності є середній наробіток до відмови T_{cp} , що визначається по формулі

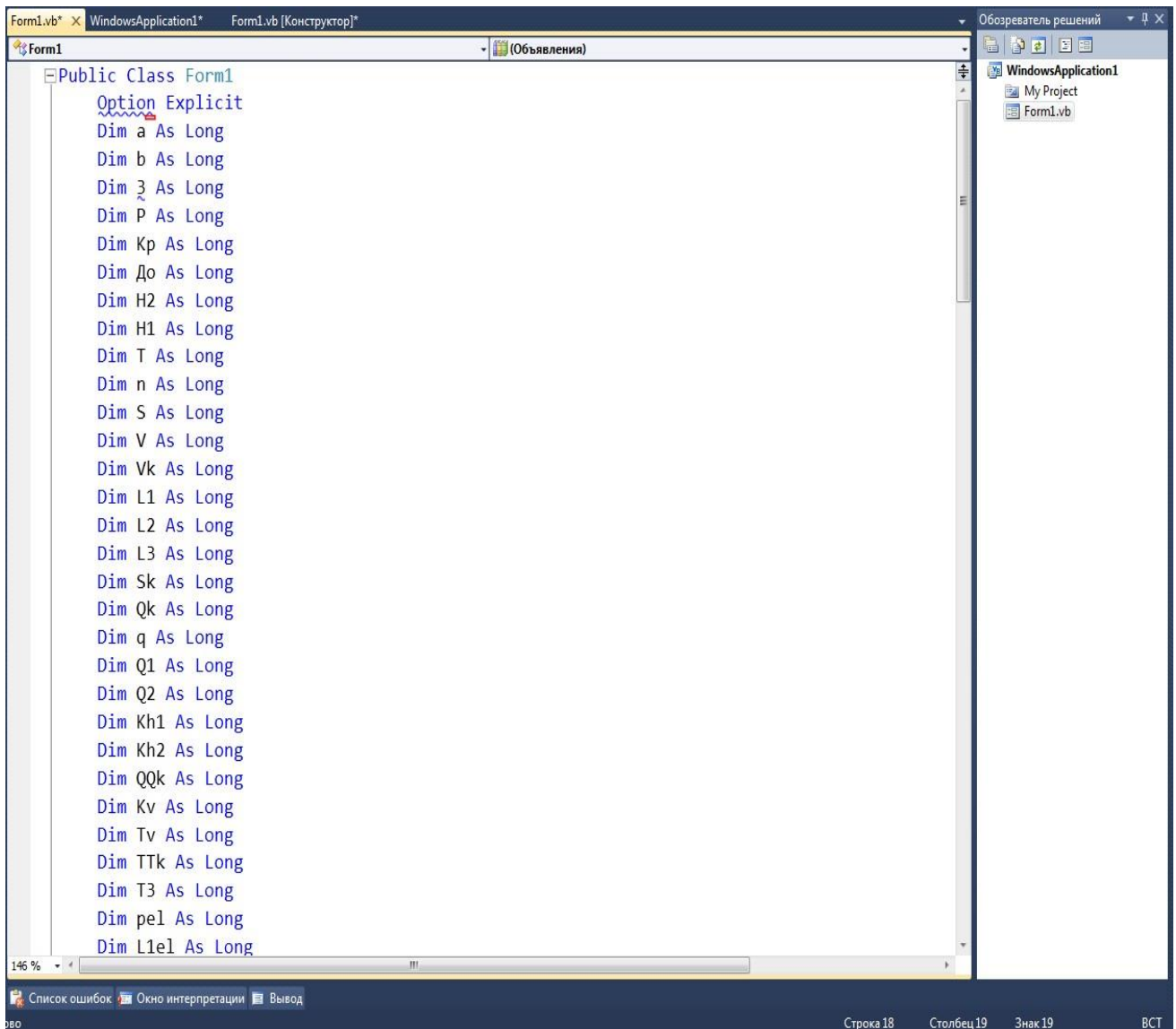


Рисунок 2.2 – Вікно 1 програми розрахунків теплових режимів комп'ютерних систем

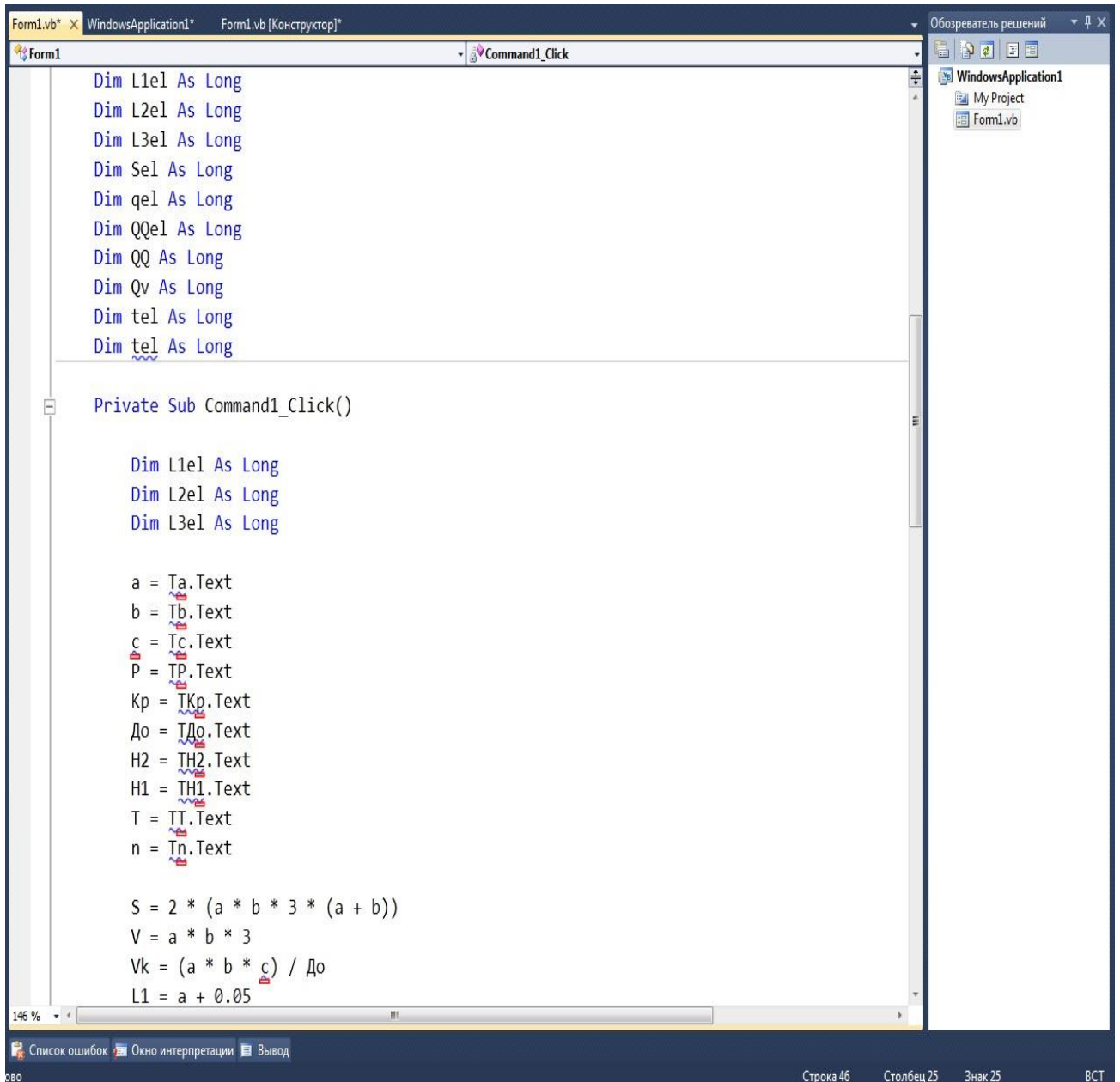


Рисунок 2.3 – Вікно 2 програми розрахунків теплових режимів комп'ютерних систем

```

Form1.vb* x WindowsApplication1* Form1.vb [Конструктор]*
Form1
Command1_Click
L1 = a + 0.05
L2 = b + 0.02
L3 = Vk / (L1 + L2)
Qk = (Kp * P) / Sk
q = (Kp * P) / S
Q1 = 0.1472 * Qk - 0.2962 * 10 ^ -3 * Qk ^ 2 + 0.3127 * 10 ^ -6 * Qk ^ 3
Q2 = 0.139 * q - 0.1123 * 10 ^ -3 * q ^ 2 + 0.0698 * 10 ^ -6 * q ^ 3
Kh1 = 0.82 + (1 / 0.925 + 4.6 * H1)
Kh2 = 0.8 + (1 / 1.25 + 3.8 * H2)
QQk = Q1 * Kh1
QQ = QQk + Kh2 * (Q2 - Q1)
Qv = 0.5 * (QQk + QQ)
Tv = Qv + T
TTk = QQk + T
T3 = QQ + T

pel = P / n

L1e1 = 0.02
L2e1 = 0.0075
L3e1 = 0.005
Sel = 2 * (L1e1 * L2e1 + L3e1 * (L1e1 + L2e1))
qel = pel / Sel
QQe1 = QQ * (0.75 + 0.25 * (qel / q))
te1 = QQe1 + T

Label11.Caption = "Середня температура повітря в блоці приладів"&Fix(Tv-273)&"oC"
Label12.Caption = "Температура корпусу блока "&Fix(TTk-273)&"oC"
Label13.Caption = "Температура в нагрітій зоні"&Fix(TTk-273)&"oC"
Label14.Caption = "Температура поверхні елемента"&Fix(TTk-273)&"oC"

End Sub
146 %
Список ошибок Окно интерпретации Вывод
Строка 77 Столбец 20 Знак 20 ВСТ

```

Рисунок 2.4 – Вікно 3 програми розрахунків теплових режимів комп'ютерних систем

$$T_{\text{cp}} \approx \frac{t}{n}, \quad (2.25)$$

де t - сумарна кількість годин, які проробили всі пристрої, що бере участь у випробуваннях; n - кількість виниклих при цьому відмов.

Найбільше часто в літературі [5,8,10,12,18] приводять значення й користуються параметром надійності, що називається інтенсивністю відмов і є величиною зворотної середнім наробіткам до відмови, тобто

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{cp}}} \quad (2.26)$$

У тій же літературі показано, що інтенсивність відмови є функцією багатьох аргументів, тобто залежить від цілого ряду параметрів і характеристик.

У загальному випадку для КС і РЕА інтенсивність відмов, з урахуванням умов експлуатації можна представити як

$$\lambda = \lambda_0 \cdot K_M \cdot K_T \cdot K_a \dots \dots \cdot K_i \quad (2.27)$$

де λ_0 - номінальна інтенсивність відмов, тобто інтенсивність відмов у лабораторних умовах; K_M – поправочний коефіцієнт залежний від механічних впливів; K_T – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив температури; K_a – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив агресивного середовища; K_i - поправочні коефіцієнти, що враховує вплив інших різних факторів.

Прикладом може служити наведена в розділі 1 даної роботи таблиця 1.1, де зазначені поправочні коефіцієнти залежно від температури, для різних електрорадіоелементів при різних коефіцієнтах навантаження.

Таким чином, як ця видно з наведеного приклада і як це треба з аналізу існуючих методів теплових розрахунків і запропонованої методики розрахунку теплових режимів – коефіцієнт κ_T , що враховує вплив температурних режимів у вираженні (2.27), сам по собі також є функцією багатьох змінних, тобто залежить від середньої температури в блоці T_B , температури корпусу блоків T_K , температури нагрітої зони T_Z , перегріву поверхні електрорадіоелементів $Q_{ел}$, перегріву навколишнього елемента середовища $Q_{ес}$, температури поверхні елемента – $T_{ел}$, температури середовища навколишній елемент – $T_{ес}$. А в електронних блоках розташовуваних у перфорованих корпусах коефіцієнт κ_T залежить ще й від коефіцієнта перфорації κ_n , перегріву корпусу блоку – Q_K , перегріву нагрітої зони – Q_Z , середнього перегріву повітря в блоці – Q_B .

Крім того, існує ще досить багато факторів електронних блоків, що впливають на загальний температурний режим, урахувати які досить складно й неможливо не тільки в одній магістерській роботі, але й у наукових працях більш високого рангу. Позначимо ці фактори n_i .

Тоді в загальному випадку можна записати, що

$$\kappa_T = f(T_B, T_K, T_Z, Q_{ел}, Q_{ес}, T_{ел}, T_{ес}, Q_K, Q_Z, Q_B, n_i) \quad (2.28)$$

Природно, що для обліку всіх температурних факторів визначальні температурні режими від яких залежить інтенсивність відмов, необхідно визначити всі величини n_i і розробити алгоритм і програми для розрахунку функції (2.28).

Таку роботу неможливо провести в рамках магістерської роботи. Тому, така робота була проведена силами колективу авторів і на більше високому науково-дослідному рівні, чим дана робота. Новий цих дослідженнях, у якостей вихідних даних були використані розрахунки параметрів теплових

режимів за пропонованою методикою й по програмі, наведеної в додатку А даній магістерській роботі.

Результати кінцевих розрахунків впливу теплових режимів на інтенсивність відмов РЕС ДВЗ наведені на рисунку 2.5.

На цьому графіку:

λ_0 – номінальна інтенсивність відмов систем РЕА на базі інтегральних схем (ІС), при роботі в лабораторних умовах, отримана по літературних джерелах;

λ - реальна інтенсивність відмов радіоелектронних систем керування, контролю й діагностики на базі ІС залежність, що відбиває (2.27) і отримана експериментально;

λ_1 – розрахункова інтенсивність відмов радіоелектронних систем керування, контролю й діагностики на базі ІС із урахуванням температурних факторів, що визначають тільки теплові режими роботи електронних блоків, тобто залежність, що відбиває (2.28)

$$\lambda_1 = \lambda_0 \cdot K_M. \quad (2.29)$$

З наведених графіків видно, що інтенсивність відмовив в радіоелектронних та комп'ютерних системах керування, контролю й діагностики, що працюють у тяжких умовах $\lambda=f(t)$, отримана експериментальним шляхом, у цілому, на 15-20% вище, ніж інтенсивність відмов КС і РЕА, що працюють у лабораторних умовах $\lambda_0=f(t)$. Це усереднена характеристика, отримана за літературним даними.

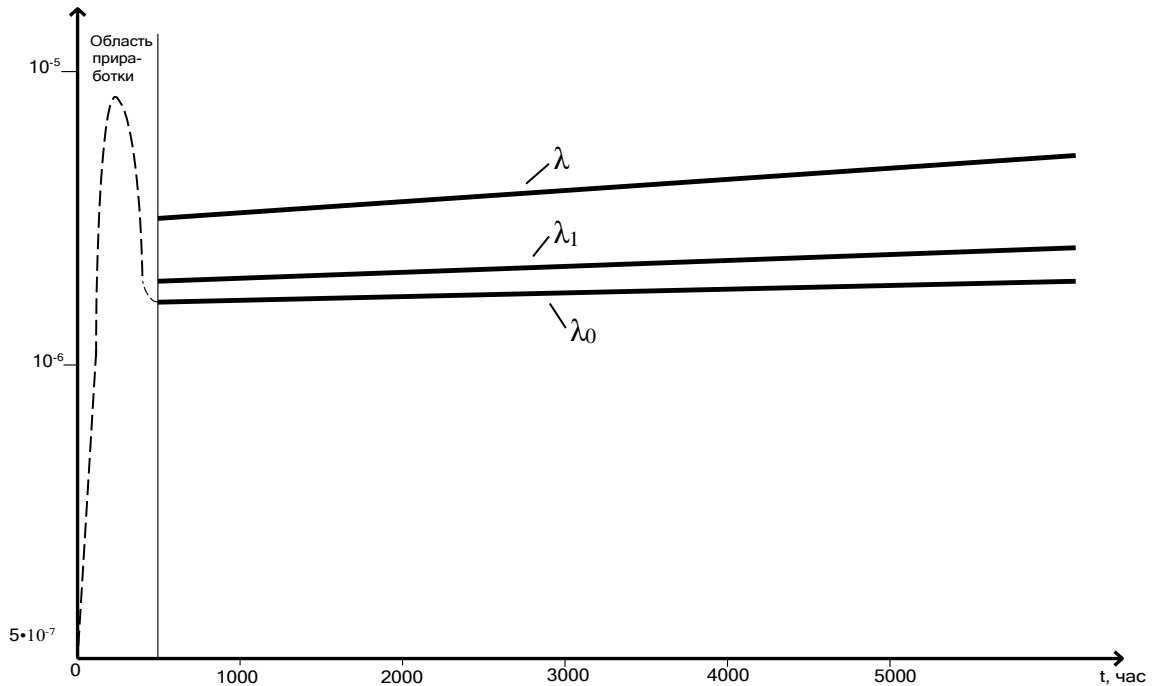


Рисунок 2.5 - Залежність інтенсивності відмов від впливу різних факторів

При цьому розрахункова залежність $\lambda_1=f(t)$ показує, що на частку відмов за рахунок теплових факторів доводиться більш третини цих відмов (близько 35-40%).

2.6 Висновки до другого розділу

За результатами роботи, проведенною у другому розділі, можна зробити такі висновки:

1) пропонуєма методика, алгоритм і програма для розрахунків теплових процесів в пристроях КС усувають існуючі недоліки і забезпечують:

а) розрахунок теплових режимів, як у герметичному корпусі так і в перфорованому за допомогою єдиного алгоритму, що враховує їх особливості;

б) заміну (з достатнім ступенем точності) у процесі розрахунку складних математичні залежностей на більш прості;

в) визначення в процесі теплового розрахунку:

- температури (перегрів) корпусу;
- температури (перегрів) зони;
- температури (перегрів) елемента;

г) послідовність виведеної інформації результатів розрахунку.

2) проведені за розробленим програмним забезпеченням розрахунки показали, що на частку відмов за рахунок теплових факторів доводиться більш третини цих відмов (близько 35-40%);

3) розроблені в даній роботі алгоритми й програми забезпечують результати розрахунків співпадаючі з окремими наведеними в літературі відомостями про результати розрахунків по існуючих методиках.

ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

1) однією з основних причин відмов у процесі експлуатації є теплові впливи не враховані при виборі режимів роботи елементів і виборі конструктивних рішень на стадії проектування;

2) існуючі методики для визначення теплових режимів вузлів і елементів комп'ютерних систем (КС) мають ряд недоліків: розрахунки ведуться по складних залежностях; практично всі методики можна використати в певному діапазоні зміни температур; як правило, методики теплового розрахунку блоку й окремих елементів цього ж блоку - різні;

3) методика, алгоритм і програма, що пропонуються для розрахунків теплових процесів в пристроях КС усувають існуючі недоліки і забезпечують:

а) розрахунок теплових режимів, як у герметичному корпусі так і в перфорованому за допомогою єдиного алгоритму, що враховує їх особливості;

б) заміну, з достатнім ступенем точності, у процесі розрахунку складних математичних залежностей на більш прості;

в) визначення в процесі теплового розрахунку:

- температури (перегрів) корпусу;
- температури (перегрів) зони;
- температури (перегрів) елемента;

4) проведені за розробленим програмним забезпеченням розрахунки показали, що на частку відмов за рахунок теплових факторів доводиться більш третини цих відмов (близько 35-40%);

5) розроблені в даній роботі алгоритми й програми забезпечують результати розрахунків співпадаючі з окремими наведеними в літературі відомостями про результати розрахунків по існуючих методиках.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Танентаум Э. Архитектура компьютера. – Спб.: Питер, 2009.-804с.
2. Каган Б.М., Мкртумян И.Б. Основы эксплуатации ЭВМ.- М.: Энергоатомиздат, 1988.-432 с.
3. Кузлов Б.И., Дрогин В.А. Расчет и конструирование узлов вычислительной техники .- М.: Высш. Шк., 1989, -463 с.
4. Технические средства диагностирования: Справочник. /Под общ/ ред. В.В. Ключева - М.: Машиностроение, 1989.-
5. Парфенов Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Радио и связь, 1989. – 272с.
6. Власов Е.П. Расчет надежности компьютерных систем - .К.: “Корнейчук”, 2003. - 187 с.
7. Фролов В.А. Анализ и оптимизация в прикладных задачах конструирования РЭС. - К.: Вища шк., 1991. – 310с.
8. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры. /Под ред. В.Ю. Лавриненко. - М.: Высш.шк., 1988.- 320 с.
9. Атафьев А.В. Окружающая среда и надежность радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Энергия, 1965. - 370 с.
10. Лыков И.А. Основы надежности радиоэлектронной аппаратуры.- Харьков: ВИРТА им. Л.А. Говорова, 1962.- 217 с.
11. Широков А.М. Надежность радиоэлектронных устройств.- М.: Высш. Шк., 1972.-319 с.
12. Шишонюк М.А. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. - М.: Сов. Радио, 1962 .- 412 с.
13. Лыков И.А., Нечаев В.А. Введение в техническую эксплуатацию радиоэлектронной аппаратуры. - Харьков: ВИРТА им. Л.А.Говорова, 1985.- 179 с.
14. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА. /В.Т. Белинский, В.П. Гондюл, А.Б. Гроаин/ Под ред. К.В. Крюковского-Синевица,

Ю.Л. Мазура. - К.: Вища шк., 1992.- 494 с.

15. Преснухин Л.Н, Шахнов В.А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. Учеб. для вузов по спец.ЭВМ и конструирование и производство ЭВА.- М.: Высш.шк., 1986.- 512 с.

16. Парфенов Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие для вузов /Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачев.- М.: Радио и связь, 1989.-272 с.

17. Технология ЭВА, оборудование и автоматизация: Учебное пособие для студентов вузов специальности «Конструирование и устройство ЭВА» /Алексеев В.Г., Гриднев В.Н., Нестеров Ю.И.- М.: Высш. шк., 1984.- 392 .

18. Гель П.П., Иванов-Есипович Н.К. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов.- Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение., 1984.-536 с.

19. Поляков К.П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры.- М.: Радио и связь, 1982.- 240 с.

20. Технология деталей радиоэлектронной аппаратуры. Учебное пособие для вузов /С.Е. Ушакова, В.С. Сергеев.- М.: Радио и связь, 1986.-256 с.

21. Фролов В.А. Математические методы и методы оптимального конструирования ЭВЭ и РЭА.- Х.: Вища шк. Изд-во при ХГУ, 1985.- 136 с.

22. Куземин А.Я. Конструирование и микроминиатюризация электронной вычислительной аппаратуры: Учебное пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 1985.- 280 с.

23. Джордейн Р. Справочник программиста персональных компьютеров IBM PC, XT и AT. - М.: Финансы и кредит, 1992.-543 с.

24. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694–XII із змінами, внесеними в редакції Закону N 229 – IV (229-15) від 21.11.2002.