

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійної роботи з дисципліни
"Тепломасообмін в радіоелектронній апаратурі"

для студентів спеціальності
172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
(освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби»,
«Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної
техніки») усіх форм навчання

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни "Тепломасообмін в радіоелектронних апаратах" для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби», «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад. : Ірина ПОСПЕСВА, Наталія ФУРМАНОВА, Вадим ЯКОВЕНКО, – Запоріжжя: НУЗП, 2024. – 51 с.

Укладачі: Ірина ПОСПЕСВА, ст. викл. каф. ІТЕЗ;
Наталія ФУРМАНОВА, к.т.н., доц. каф. ІТЕЗ;
Вадим ЯКОВЕНКО, д.т.н., проф. каф. ІТЕЗ.

Рецензент: Тетяна БУГРОВА, к.т.н., доц. каф. РТТ

Відповідальний за випуск: Олександр МАЛІЙ, к.т.н., доц., зав.
каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 2 від 25.10.24 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФІБЕК
протокол № 4 від 15.11.24 р.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
1 ПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ	5
1.1 Контрольні питання до теми 1	5
1.2 Контрольні питання до теми 2	6
1.3 Контрольні питання до теми 3	8
1.4 Контрольні питання до теми 4	9
1.5 Контрольні питання до теми 5	10
1.6 Контрольні питання до теми 6	11
1.7 Контрольні питання до теми 7	13
1.8 Контрольні питання до теми 8	14
1.9 Контрольні питання до теми 9	16
1.10 Контрольні питання до теми 10	17
1.11 Контрольні питання до теми 11	19
1.12 Контрольні питання до теми 12	20
2 ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА.....	22
2.1 Конструктивні розрахунки радіаторів охолодження НПП	22
2.1.1 Проектний розрахунок	23
2.1.2 Перевірочний розрахунок	34
2.2 Завдання до роботи	35
2.3 Вихідні дані	37
2.4 Зміст звіту	39
ЛІТЕРАТУРА	40
Додаток А. Параметри НПП	41
Додаток Б. Параметри ізоляційних прокладок	44
Додаток В. Параметри матеріалів радіаторів.....	45
Додаток Г. Поправний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища	46
Додаток Д. Номограма для визначення конвективного коефіцієнта тепловіддачі α_K в умовах вільної конвекції.....	47
Додаток Е. Залежність коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням α_B від перегріву для різних температур навколишнього середовища	48
Додаток Ж. Приклад креслення пластинчастого радіатора.....	49
Додаток К. Приклад креслення ребристого радіатора	50
Додаток Л. Приклад креслення штирьового радіатора.....	51

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою навчальної дисципліни "Тепломасообмін в радіоелектронних апаратах" є вивчення фізичних процесів та їх математичних описів при дослідженні тепломасообміну у сучасній радіоелектронній апаратурі, набуття практичних навичок вибору конструктивних рішень для забезпечення нормального теплового режиму.

Самостійна робота складається з самостійного вивчення частини теоретичного матеріалу та індивідуальної роботи.

Самостійне вивчення матеріалу слід проводити згідно з програмою навчальної дисципліни та питаннями до самостійної роботи, що наведені у розділі 1, дотримуючись наступного порядку:

- ознайомлення з темою, що підлягає вивченню за програмою, та добір літератури зі списку, що рекомендується;
- вивчення матеріалу за рекомендованою літературою з конспектуванням основних положень теми;
- письмові відповіді на контрольні питання відповідно до варіанту.

Під час самостійної підготовки слід користуватися вказаною літературою, а також конспектами лекцій з даної дисципліни.

Індивідуальна робота полягає у вивчення методик проектних та перевірочних розрахунків радіаторів охолодження напівпровідникових приладів та мікросхем.

1 ПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

1.1 Контрольні питання до теми 1

- 1 Класифікація тіл: однорідні, неоднорідні; ізотропні, анізотропні.
- 2 Що таке температурне поле?
- 3 Одиниці виміру температури.
- 4 Види температурних полів.
- 5 Приклади запису температурних полів.
- 6 Що таке тепловий напір?
- 7 Поняття ізотермічної поверхні.
- 8 Властивості ізотермічних поверхонь.
- 9 Види тіл класичної форми
- 10 Ізотермічні поверхні в нескінченій пластині.
- 11 Ізотермічні поверхні в нескінченному циліндрі.
- 12 Ізотермічні поверхні кулі.
- 13 Поняття градієнта температурного поля.
- 14 Відмінність градієнта від температурного напору.
- 15 Градієнт температурного поля у декартовій системі координат.
- 16 Градієнт температурного поля у циліндричній системі координат.
- 17 Градієнт температурного поля у сферичній системі координат.
- 18 Що таке кількість теплоти?
- 19 Що таке теплова потужність?
- 20 Що таке тепловий потік?
- 21 Відмінність теплового потоку від теплової потужності. Що таке лінії теплового потоку (лінії струму)?
- 22 Поверхнева щільність теплового потоку.
- 23 Лінійна щільність теплового потоку.
- 24 Об'ємна щільність теплового потоку.
- 25 У чому суттєва відмінність об'ємної щільності теплового потоку від поверхневої та лінійної? У яких випадках слід її використовувати?
- 26 Що таке тепломасообмін?

27 Чим теплообмін відрізняється від масообміну? Що в них спільного?

28 У чому полягає кондуктивний механізм переносу тепла?

29 У чому полягає радіаційний механізм переносу тепла?

30 У чому полягає конвективний механізм переносу тепла?

При вивченні матеріалів теми 1 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 1 та рекомендованій літературі.

1.2 Контрольні питання до теми 2

1 Дати формулювання закону Фур'є.

2 Математичний опис закону Фур'є. Рівняння Фур'є.

3 Що таке коефіцієнт теплопровідності? Одиниця його виміру. Від яких параметрів він залежить?

4 Механізм переносу тепла у газах.

5 Значення коефіцієнта теплопровідності газів та його залежність від температури, вологості та тиску.

6 Механізм переносу тепла у рідинах.

7 Значення коефіцієнта теплопровідності рідин та його залежність від температури, вологості та тиску.

8 Механізм переносу тепла у металах.

9 Значення коефіцієнта теплопровідності металів та його залежність від температури, вологості та тиску.

10 Як впливають домішки у металах на значення коефіцієнту теплопровідності? Поясніть на прикладах для різних сплавів.

11 Механізм переносу тепла у неметалевих суцільних твердих тілах.

12 Значення коефіцієнта теплопровідності неметалевих твердих суцільних та його залежність від температури, вологості та тиску.

13 Механізм переносу тепла у неметалевих пористих твердих тілах.

14 Значення коефіцієнта теплопровідності неметалевих твердих пористих та його залежність від температури, вологості та тиску.

15 Які припущення приймаються при виведенні диференціального рівняння теплопровідності?

16 Наведіть вивід диференціального рівняння теплопровідності на прикладі теплопередачі через елементарний паралелепіпед.

17 Наведіть диференціальне рівняння теплопровідності для тримірного простору у повній та скороченій формі. Як враховуються у диференціальному рівнянні теплопровідності внутрішні джерела тепла?

18 Що таке коефіцієнт температуропровідності? Його фізичний сенс, одиниця виміру.

19 Що таке умови однозначності? Для чого вони використовуються?

20 Геометричні, фізичні та початкові умови однозначності.

21 Граничні умови однозначності.

22 Перенос тепла через одношарову плоску стінку. Теплова провідність та тепловий опір одношарової плоскої стінки.

23 Перенос тепла через багатошарову плоску стінку. Тепловий опір багатошарової плоскої стінки.

24 Перенос тепла через одношарову циліндричну стінку. Тепловий опір одношарової циліндричної стінки.

25 Перенос тепла через багатошарову циліндричну стінку. Тепловий опір багатошарової циліндричної стінки.

26 Перенос тепла через сферичну стінку. Тепловий опір сферичної стінки.

27 Перенос тепла через тонкі оболонки. Теплова провідність тонкої оболонки у формі паралелепіпеда.

28 Теплова провідність тонкої оболонки у формі куба та сфери.

29 Тепловий опір при теплопередачі через закорочений стрижень.

30 Тепловий опір при теплопередачі через теплоізолюваний стрижень.

При вивченні матеріалів теми 2 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 1 та рекомендованій літературі.

1.3 Контрольні питання до теми 3

- 1 Що таке термічний коефіцієнт? Навести вивід його формули.
- 2 Як пов'язані термічний опір та термічний коефіцієнт?
- 3 У чому полягає електротеплова аналогія?
- 4 Що таке теплове коло?
- 5 Класифікація теплових кіл.
- 6 Теплове коло з зосередженими параметрами.
- 7 Теплове коло з розподіленими параметрами.
- 8 Які елементи теплових кіл відносяться до активних?
- 9 Джерело теплового потоку.
- 10 Джерело теплового напору?
- 11 Які елементи теплових кіл відносяться до пасивних?
- 12 Як визначається теплова провідність?
- 13 Що таке теплова схема? Як вона формується?
- 14 Наведіть зображення основних елементів на теплових колах.
- 15 Які закони теплових процесів аналогічні закону Ома? Наведіть основні формули та поясніть сенс їхніх складових.
- 16 У чому полягає перший закон Кірхгофа для теплових кіл?
- 17 У чому полягає другий закон Кірхгофа для теплових кіл?
- 18 Розрахунок сумарного теплового опору при послідовному з'єднанні плоских стінок.
- 19 Розрахунок сумарного теплового опору при послідовному з'єднанні циліндричних неоднорідних стінок.
- 20 Розрахунок сумарного теплового опору при послідовному з'єднанні сферичних неоднорідних стінок.
- 21 Розрахунок сумарного теплового опору при паралельному з'єднанні плоских стінок.
- 22 Розрахунок сумарного теплового опору при паралельному з'єднанні циліндричних стінок.
- 23 Формули перетворення з'єднання теплових опорів трикутником у зірку.
- 24 У чому полягає принцип суперпозиції теплових кіл?
- 25 У чому полягає принцип місцевих впливів?
- 26 У чому полягає принцип квазіізотермічних поверхонь?
- 27 Що таке теплова модель? Як вона формується?
- 28 Теплова модель резистора.

29 Теплова модель транзистора на радіаторі.

30 Теплова модель друкованої плати з мікросхемами.

При вивченні матеріалів теми 3 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 1 та рекомендованій літературі.

1.4 Контрольні питання до теми 4

1 Теплове випромінювання. Основні поняття та визначення. Хвильовий діапазон теплового випромінювання.

2 Що таке спектр випромінювання? Спектри різних тіл.

3 Особливості теплообміну випромінюванням.

4 Основні параметри теплового випромінювання.

5 Радіаційні характеристики. Їх фізичний сенс.

6 Поняття абсолютно чорного, абсолютно білого та абсолютно прозорого тіла. Які реальні тіла найбільш наближені до цих ідеальних моделей?

7 Власне випромінювання тіла. Що таке променевипускальна здатність тіла та спектральна променевипускальна здатність тіла?

8 Поясніть зв'язки між власним, результуючим та ефективним потоками випромінювання.

9 Від чого залежать спектри випромінювання реальних тіл? Спектр випромінювання абсолютно чорного тіла.

10 Закон Планка.

11 Графічне зображення закону Планка та його пояснення.

12 Закон Віна.

13 Закон Стефана-Больцмана для АЧТ.

14 Спектри реальних тіл. Спектральний ступінь чорноти.

15 Спектральне розподілення енергії випромінювання та ступеню чорноти для різних тіл.

16 Закон Кірхгофа для АЧТ.

17 Поняття сірого тіла.

18 Закон Стефана-Больцмана для сірого тіла. Інтегральний ступінь чорноти (коефіцієнт чорноти).

19 Властивості коефіцієнта чорноти. Чому дорівнює коефіцієнт чорноти деяких матеріалів?

20 Закон Кірхгофа для сірих тіл.

21 Потік результуючого випромінювання у системі двох сірих тіл.

23 Що таке наведений ступінь чорноти та наведений коефіцієнт випромінювання?

24 Що таке кутовий коефіцієнт випромінювання? Від чого він залежить?

25 Кутовий коефіцієнт випромінювання для двох плоских паралельних поверхонь.

26 Кутовий коефіцієнт випромінювання для системи з двох тіл, одне з яких увігнуте, а друге – опукле.

27 Кутовий коефіцієнт випромінювання для системи з двох тіл, розміри одного з яких набагато більші за розміри другого.

28 Як визначається щільність результуючого радіаційного теплового потоку між двома поверхнями без екрану та з екраном?

29 Як зменшується результуючий радіаційний тепловий потік між двома плоскими поверхнями при установці одного екрану?

30 Як зменшується результуючий радіаційний тепловий потік між двома плоскими поверхнями при установці n екранів?

При вивченні матеріалів теми 4 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 1 та рекомендованій літературі.

1.5 Контрольні питання до теми 5

1 Механізм передачі тепла конвекцією. Поняття рідини. Види конвекції.

2 Закон Ньютона-Ріхмана.

3 Коефіцієнт тепловіддачі. У яких межах він знаходиться в залежності від виду конвекції?

4 Причини внутрішнього тертя під час руху рідини.

5 Зовнішні сили та напруження, що діють на елементи рідини.

6 Ідеальна та реальна рідина.

7 Динамічна та кінематична в'язкість.

8 Що характеризує число Рейнольдса? Як воно визначається?

9 Характер руху в'язкої рідини. За яким критерієм визначається характер руху?

10 Поняття стисливості рідини. Коефіцієнт стиснення.

11 Температурний коефіцієнт об'ємного розширення рідини.

12 Теплопровідність потоку носія. Що характеризує число Прандтля?

13 Що характеризує число Пекле? Зв'язок числа Пекле з числами Рейнольдса та Прандтля.

14 Фізичні властивості крапельних речовин.

15 Фізичні властивості газів.

16 Поняття приграничного шару. Види приграничних шарів при конвекції.

17 Формування гідродинамічного приграничного шару при ламінарному русі.

18 Епюри швидкостей у гідродинамічному приграничному шарі.

19 Гідродинамічний приграничний шар при турбулентному русі.

20 Чим відрізняється епора швидкостей у приграничному шару при турбулентному русі?

21 Товщина гідродинамічного приграничного шару.

22 Тепловий приграничний шар. Розподіл температур у ньому, якщо температура рідини менше температури стінки.

23 Товщина теплового приграничного шару.

24 Як пов'язані між собою гідродинамічний та тепловий приграничні шари?

25 Диференціальне рівняння енергії.

26 Диференціальне рівняння руху.

27 Система рівнянь Нав'є-Стокса.

28 Диференціальне рівняння суцільності.

29 Умови однозначності.

30 Граничні умови процесу конвекції.

При вивченні матеріалів теми 5 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 2 та рекомендованій літературі.

1.6 Контрольні питання до теми 6

1 Види складного теплообміну.

2 Зв'язок теплового потоку між ізотермічними поверхнями з різницею температур для різних механізмів теплопередачі.

3 Визначення термічного опору при складному теплообміні.

4 Як визначається термічний опір при конвекції?

5 Як визначається термічний опір при теплообміні випромінюванням?

6 Як визначається загальний термічний опір при складному теплообміні?

7 Чому дорівнює термічний коефіцієнт, якщо теплові потоки у обидва боки однакові?

8 Опишіть механізм теплопередачі через плоску стінку.

9 Чому дорівнює тепловий потік при теплопередачі через плоску стінку?

10 Чому дорівнюють коефіцієнт теплопередачі та термічний опір при теплопередачі через одношарову плоску стінку?

11 Чому дорівнюють коефіцієнт теплопередачі та термічний опір при теплопередачі через багатошарову плоску стінку?

12 Опишіть механізм теплопередачі через циліндричну стінку.

13 Чому дорівнює тепловий потік при теплопередачі через циліндричну стінку?

14 Чому дорівнюють лінійний коефіцієнт теплопередачі та термічний опір при теплопередачі через одношарову циліндричну стінку?

15 Чому дорівнюють лінійний коефіцієнт теплопередачі та термічний опір при теплопередачі через багатошарову циліндричну стінку?

16 Наведіть методику визначення критичного діаметра циліндричної стінки.

17 Як реалізується теплова ізоляція?

18 Наведіть методику визначення критичного діаметра теплової ізоляції.

19 Вплив зовнішнього діаметра ізоляції на повний термічний опір труби.

20 Чому дорівнює критичний діаметр ізоляції?

21 Шляхи інтенсифікації теплообміну.

22 Опишіть механізм передачі теплоти у прямому стрижні.

23 Виведення диференціального рівняння теплопередачі у прямому стрижні.

24 Як визначаються постійні диференціального рівняння теплопередачі?

25 Аналіз розв'язку диференціального рівняння теплопередачі.

26 Опишіть механізм теплопередачі через ребристу стінку.

27 Що таке коефіцієнт ефективності ребра?

28 Чому дорівнює загальний тепловий потік через ребристу стінку?

29 Що таке коефіцієнт оребрення?

30 З чим пов'язані складнощі визначення ефективності оребрення?

При вивченні матеріалів теми 6 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 2 та рекомендованій літературі.

1.7 Контрольні питання до теми 7

1 Труднощі, пов'язані з розрахунками конвективного теплообміну.

2 Призначення спеціальної теорії подоби.

3 Види подоби.

4 Що таке константи подоби? Їх основні властивості.

5 Подоба явищ на прикладі рівномірного прямолінійного руху двох потоків рідини.

6 Умови подоби.

7 Виведення залежностей між константами подоби за допомогою диференціальних рівнянь енергії, руху та теплообміну.

8 Поняття критеріїв подоби.

9 Критерій Фур'є.

10 Критерій Пекле.

11 Критерій гомохронності.

12 Критерій Ейлера.

13 Критерій Рейнольдса.

14 Критерій Нуссельта.

15 Критерій Прандтля.

16 Критерій Грасгофа.

17 Критерій Архімеда.

18 Критерій Релея.

19 Критеріальні рівняння.

20 Класифікація безрозмірних величин, що входять у критеріальні рівняння.

21 Теореми подоби.

22 Наслідки з теорем подоби.

23 Види фізичних величин.

24 Що таке розмірність?

25 Виведення критеріального рівняння для явища, яке описується трьома числами подоби.

26 Вид ступеневої залежності між параметрами критеріального рівняння.

27 Перехід від ступеневої залежності між параметрами критеріального рівняння до лінійної. Визначення показника ступеню n .

28 Визначення показника ступеню m .

29 Визначення сталої C .

30 Основна умова використання формул, що описують критеріальні залежності.

При вивченні матеріалів теми 7 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 2 та рекомендованій літературі.

1.8 Контрольні питання до теми 8

1 Рівняння подоби для конвективного теплообміну.

2 Чому дорівнює визначальна температура для процесів з вільною конвекцією?

3 Чому дорівнює визначальна температура для процесів з примусовою конвекцією?

4 Від чого залежить визначальний розмір?

5 Чому дорівнює визначальний розмір для каналів круглого та некруглого перерізу?

6 Чому дорівнює визначальний розмір при обтіканні плоскої поверхні?

7 Критеріальне рівняння для обчислення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією при вільній конвекції в необмеженому просторі.

8 Як обираються емпіричні коефіцієнти критеріального рівняння для обчислення коефіцієнту тепловіддачі конвекцією при вільній конвекції в необмеженому просторі?

9 Наведіть формулу для визначення конвективного коефіцієнта тепловіддачі при відомому числі Нуссельта.

10 Як відбувається рух рідини при вільній конвекції біля нагрітих вертикальних пластин?

11 Як змінюються температура та швидкість при вільному русі середовища вздовж вертикальної стінки?

12 Як відбувається рух рідини при вільній конвекції біля нагрітих горизонтальних пластин, звернених поверхнею тепловіддачі вгору?

13 Як відбувається рух рідини при вільній конвекції біля нагрітих горизонтальних пластин, звернених поверхнею тепловіддачі вниз?

14 Як враховується рух рідини при розрахунках конвективного коефіцієнта тепловіддачі?

15 Вільна конвекція у обмеженому просторі.

16 Що таке ефективний коефіцієнт тепловіддачі?

17 Наведіть вирази для ефективних коефіцієнтів тепловіддачі в прошарках різних конфігурацій.

18 Конвективний теплообмін при вільній конвекції у вузьких прошарках.

19 Конвективний теплообмін при вільній конвекції всередині замкненого об'єму, що має форму паралелепіпеда.

20 Конвективний теплообмін при вільній конвекції у вертикальних каналах при великій ширині і малій висоті.

21 Конвективний теплообмін при вільній конвекції у вертикальних каналах при великій ширині і малій висоті.

22 Конвективний теплообмін при вільній конвекції у вертикальних каналах при великій ширині і малій висоті.

23 Що таке критична ширина вертикального каналу? Як відбувається рух повітря в каналі критичної ширини?

24 Примусова конвекція при зовнішньому поздовжньому обтіканні тіл ламінарним потоком.

25 Примусова конвекція при зовнішньому поздовжньому обтіканні тіл турбулентним потоком.

26 Примусова конвекція при зовнішньому поперечному обтіканні тіл потоком.

27 Чому дорівнює визначальний розмір при обтікання потоком для тіл різної форми?

28 Примусова конвекція в гладких трубах та каналах при ламінарному русі.

29 Примусова конвекція в гладких трубах та каналах при турбулентному русі.

30 Примусова конвекція в каналах з виступами та западинами.

При вивченні матеріалів теми 8 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 2 та рекомендованій літературі.

1.9 Контрольні питання до теми 9

1 Що таке система забезпечення нормального теплового режиму (СЗТО)? Класифікація СЗТО.

2 Що таке система охолодження (СО)? Класифікація СО.

3 СО з вільним природним охолодженням. Вільне повітряне охолодження у герметичному корпусі: схема реалізації, переваги, недоліки.

4 Вільна повітряна вентиляція у перфорованому корпусі: схема реалізації, переваги, недоліки.

5 Примусове повітряне охолодження. Внутрішнє перемішування: схема реалізації, переваги, недоліки.

6 Обдув зовнішньої поверхні: схема реалізації, переваги, недоліки.

7 Продув повітря через корпус: схема реалізації, переваги, недоліки.

8 Види вентиляції. Переваги та недоліки кожного виду.

9 Рідинне природне охолодження: схема реалізації, переваги, недоліки.

10 Рідинне примусове охолодження: схема реалізації, переваги, недоліки.

11 Зовнішнє рідинне охолодження: схема реалізації, переваги, недоліки.

12 Випарювальне природне охолодження. Випарювальне примусове рідинно-випарювальне охолодження: схема реалізації, переваги, недоліки.

13 Випарювальне примусове газо-випарювальне охолодження: схема реалізації, переваги, недоліки.

14 Кондуктивне охолодження: схеми реалізації, переваги, недоліки.

15 Радіаційні, спеціальні та комбіновані СО: схеми реалізації, переваги, недоліки.

16 Основні дані, що наводяться в ТЗ на розробку пристрою для вибору системи охолодження.

17 Поясніть суть номограми для вибору системи охолодження.

18 Наведіть методику вибору доцільної системи охолодження за допомогою номограми.

19 Як визначається допустимий перегрів відносно оточуючого середовища?

20 Що таке умовна площа охолодження поверхні корпусу та як вона визначається?

21 Що таке коефіцієнт заповнення об'єму та як він визначається?

22 Як відбувається остаточний вибір СО?

23 Способи оцінки ймовірності, з якою буде забезпечений тепловий режим при вільній та примусовій повітряній конвекції.

24 Порядок перевірного розрахунку теплового режиму радіоелектронного пристрою.

25 Розрахунок теплового режиму при вільному повітряному охолодженні блока в герметичному корпусі.

26 Розрахунок теплового режиму при вільному повітряному охолодженні блока в герметичному ребреному корпусі.

27 Розрахунок теплового режиму при вільній повітряній вентиляції блока в перфорованому корпусі.

28 Розрахунок теплового режиму при примусовому охолодженні в герметичному корпусі з внутрішнім перемішуванням.

29 Розрахунок теплового режиму при примусовому охолодженні в герметичному корпусі з обдувом зовнішньої поверхні.

30 Розрахунок теплового режиму при примусовому продуві повітря через корпус (примусовій вентиляції).

При вивченні матеріалів теми 9 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 2 та рекомендованій літературі.

1.10 Контрольні питання до теми 10

1 Загальний склад конвективних систем охолодження.

2 Які властивості слід враховувати при виборі теплоносія?

3 Які матеріали використовуються у якості теплоносіїв? Їх порівняльні характеристики та області застосування.

4 Теплообмінні апарати та їхня класифікація.

5 Наведіть схеми теплообмінників з прямоточним та протиточним рухом.

6 Наведіть схеми рекуперативного, регенеративного та змішаного теплообмінника. Области їх застосування.

7 Схеми та порівняльна характеристика рекуперативних теплообмінників з прямоточним, протиточним та перехресним рухом.

8 Кожухотрубні, пластинчасті та компактні теплообмінники.

9 Як оцінюється ефективність теплообмінників?

10 Види теплових розрахунків теплообмінників.

11 Наведіть методику конструкторського розрахунку теплообмінника.

12 Вибір конструкції теплообмінного апарату.

13 Призначення нагнітачів. Види нагнітачів.

14 Наведіть спрощені схеми нагнітачів, принципи їх роботи та порівняльну характеристику.

15 Основні фізичні процеси, що відбуваються у системах вентиляції.

16 Осьові (аксіальні) вентилятори: принцип дії, переваги, недоліки, області застосування.

17 Відцентрові (радіальні) вентилятори: принцип дії, переваги, недоліки, області застосування.

18 Діагональні вентилятори: принцип дії, переваги, недоліки, області застосування.

19 Що входить до конструкції кулера? Їхні переваги.

20 Особливості конструкцій сучасних вентиляторів.

21 Системи автоматичного керування швидкістю вентиляторів.

22 Основні параметри та характеристики вентиляторів.

23 Характеристична крива вентилятора. Що являє собою повна характеристика вентилятора?

24 Методика проектування повітряних систем примусового охолодження.

25 Каскадування вентиляторів. Послідовна та паралельна схеми з'єднання вентиляторів у каскаді.

26 Провідні фірми-виготовники вентиляторів.

27 Зменшення шуму під час роботи системи охолодження.

28 Шляхи підвищення ефективності повітряних систем примусового охолодження.

29 Конвективне охолодження складних РЕЗ, змонтованих у шафи та стійки.

30 Рідинне охолодження електронних компонентів та модулів.

При вивченні матеріалів теми 10 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 2 та рекомендованій літературі.

1.11 Контрольні питання до теми 11

1 Які системи відносяться до систем кондуктивного охолодження?

2 Призначення радіаторів охолодження.

3 Загальні вимоги до радіаторів охолодження.

4 Які матеріали застосовують для радіаторів охолодження?

5 Основні параметри для вибору матеріалу радіатора охолодження.

6 Гібридні радіатори.

7 Які заходи застосовують для поліпшення теплового контакту радіатор-охолоджуваний елемент?

8 Теплопровідні пасти: призначення, марки, порівняльні характеристики.

9 Локальне примусове охолодження: призначення, особливості реалізації.

10 Баштовий радіатор.

11 Види конструктивних розрахунків радіаторів охолодження.

12 Вихідні дані та розрахункові параметри для проектного розрахунку.

13 Вихідні дані та розрахункові параметри для перевірного розрахунку.

14 Спрощена теплова модель транзистора на радіаторі при проектному розрахунку.

15 Розрахунок допустимого теплового опору радіатора.

16 Критерії вибору типу радіатора.

17 Порівняння типів радіаторів.

18 Як розраховується допустимий перегрів радіатора?

19 Рекомендації щодо визначення довжини радіатора при проектному розрахунку.

20 Проектний розрахунок пластинчастого радіатора за допомогою номограм.

21 Проектний розрахунок ребристого радіатора за допомогою номограм.

22 Особливості розрахунків ребристих радіаторів з одnobічним та двобічним об'єктами.

23 Проектний розрахунок штирьового радіатора за допомогою номограм.

24 У чому полягає перевірочний розрахунок радіатора?

25 Як визначається конвективний коефіцієнт тепловіддачі радіаторів для вільної та вимушеної конвекції?

26 Як визначається коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням?

27 Тепловідвідні кожухи компанії Pentair.

28 Тепловідвідні кожухи компанії Flexible Heat Conductor.

29 Охолодження стійки з обладнанням.

30 Критичні фактори для вибору стратегії охолодження.

При вивченні матеріалів теми 11 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 2 та рекомендованій літературі.

1.12 Контрольні питання до теми 12

1 Що являє собою ефект Пельтьє?

2 Як визначається кількість виділеного чи поглиненого тепла при ефекті Пельтьє?

3 Що являє собою елемент Пельтьє?

4 Від чого залежить ефективність охолодження термоелементів?

5 Від чого залежить максимальна різниця температур термоелементів?

6 Особливості конструювання термоелементів.

7 Конструкції термоелементів, що передбачають зниження механічних напружень.

8 Конструкції охолоджувачів на елементах Пельтьє.

9 Що являють собою напівпровідникові термоелектричні модулі?

10 Проблеми при створення напівпровідникових термоелектричних модулів.

11 Схеми електричних з'єднань каскадів напівпровідникових термоелектричних модулів.

12 Як відбувається теплообмін термоохолоджуючих пристроїв з зовнішнім середовищем?

13 Переваги та області застосування термоелектричного охолодження.

14 У чому полягає вихровий ефект (ефект Ранке-Хілша)?

15 Наведіть схему потоків газу у вихровій трубі та поясніть принцип її роботи.

16 Конструкція та принцип роботи простішої вихрової труби.

17 Переваги та недоліки вихрових труб.

18 Принцип дії теплової трубки.

19 Наведіть схему роботи теплової трубки.

20 Термічний цикл теплової трубки.

21 Наведіть схему гравітаційного термосифона. Особливості його роботи.

22 Наведіть варіанти конструкцій теплових трубок.

23 Властивості та характеристики теплових трубок.

24 Параметри теплових трубок.

25 Області застосування теплових трубок.

26 Наведіть систему охолодження ноутбука з використанням теплових трубок.

27 Переваги теплових трубок.

28 Системи охолодження за допомогою фазових переходів.

29 Конструктивні схеми рідинних систем охолодження.

30 Турбоохолодильники.

При вивченні матеріалів теми 12 рекомендується користуватися матеріалами, наведеними у конспекті лекцій, част. 2 та рекомендованій літературі.

2 ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА

Тема роботи: конструктивний розрахунок радіатора охолодження напівпровідникового приладу (НПП).

Мета роботи: ознайомитись з конструкціями радіаторів, засвоїти методики їх вибору та проведення інженерних розрахунків.

2.1 Конструктивні розрахунки радіаторів охолодження НПП

Існує два основні напрямки проведення конструктивних розрахунків радіаторів: проєктний та перевірочний.

Мета **проєктного розрахунку** полягає у виборі типу радіатора та його конструктивних характеристик.

Вихідні дані для проєктного розрахунку:

- тип охолоджуваного НПП;
- потужність розсіювання P , Вт;
- вид охолодження та його параметри (для примусової конвекції – швидкість потоку w , м/с);
- допустима температура НПП, $t_{\text{НПП доп}}$, $^{\circ}\text{C}$;
- температура зовнішнього середовища t_c , $^{\circ}\text{C}$;
- конструктивні та технологічні вимоги та обмеження;
- тип виробництва.

Розрахункові параметри:

- тип радіатора, розміри радіатора.

Мета **перевірочного розрахунку** полягає у визначенні температури переходу НПП.

Вихідні дані для перевірочного розрахунку:

- тип охолоджуваного НПП;
- потужність розсіювання P , Вт;
- вид охолодження та його параметри (для примусової конвекції – швидкість потоку W , м/с);
- температура зовнішнього середовища t_c , $^{\circ}\text{C}$;
- тип та параметри радіатора (габаритні розміри, матеріал).

Розрахункові параметри:

- температура р-п переходу НПП.

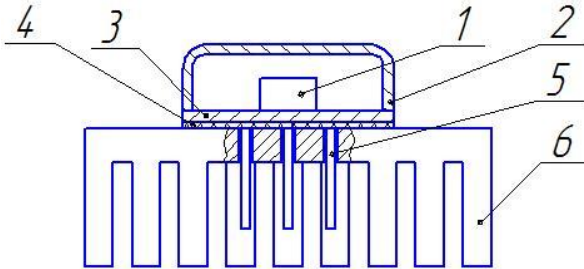
Методики інженерних (спрощених) розрахунків радіатора наведені у конспекті лекцій, част. 2.

2.1.1 Проектний розрахунок

2.1.1.1 Теплова модель НПП на радіаторі

Конструкція НПП (у даному випадку транзистора) на радіаторі наведена на рис. 2.1.

Теплова модель для неї була розглянута у лабораторній роботі 2. Ця модель досить складна, але у інженерних розрахунках її можна значно спростити, знехтувавши тепловими опорами основи корпусу, виводів НПП, контактів між різними шарами, а також тепловим потоком НПП – корпус – повітря.



1 – НПП, 2 – кришка корпусу, 3 – основа, 4 – ізоляційна прокладка, 5 – виводи, 6 – радіатор

Рисунок 2.1 – Конструкція НПП на радіаторі

Враховуючи вказані спрощення, теплова модель НПП на радіаторі для інженерного проектного розрахунку має вигляд, наведений на рис. 2.2.

Позначення на рис. 2.2:

- $t_{p-n \text{ доп}}$, – допустима температура р-п переходу, $^{\circ}\text{C}$;
- $t_{\text{Кдоп}}$, – допустима температура корпусу, $^{\circ}\text{C}$;
- $R_{\text{ПТ}}$ – тепловий опір р-п перехід – тепловідвід, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- $R_{\text{ПК}}$ – тепловий опір р-п перехід – корпус, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- $R_{\text{ІЗ}}$ – тепловий опір ізоляційної прокладки, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- $R_{\text{Р}}$ – тепловий опір радіатора, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

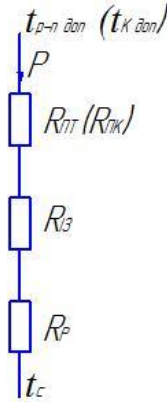


Рисунок 2.2 – Теплова модель для інженерного проектного розрахунку радіатора

2.1.1.2 Розрахунок допустимого теплового опору радіатора

Якщо для НПП задана $t_{p-n доп}$, то у теплову модель входить тепловий опір $R_{ПТ}$, якщо $t_{К доп}$, то тепловий опір $R_{ПК}$.

З урахуванням цього допустимий тепловий опір радіатора можна визначити за формулами 2.1 або 2.2:

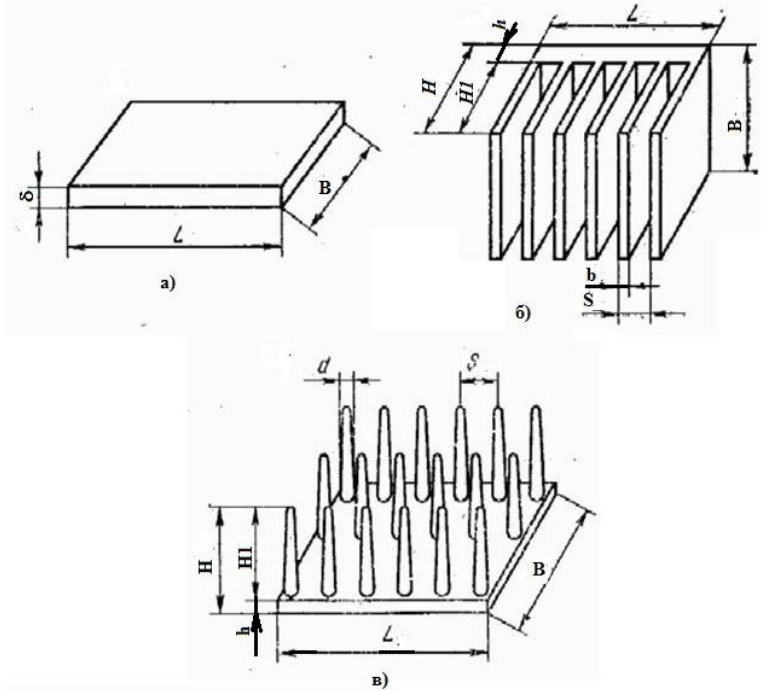
$$R_{P доп} = \frac{t_{p-n доп} - t_{с}}{P} - (R_{ПТ} + R_{ІЗ}), \quad (2.1)$$

$$R_{P доп} = \frac{t_{К доп} - t_{с}}{P} - (R_{ПК} + R_{ІЗ}) . \quad (2.2)$$

Значення теплових опорів та допустимих температур для НПП наведені у додатку А, теплових опорів ізоляційних прокладок – у додатку Б.

2.1.1.3 Вибір типу радіатора

Найбільш розповсюджені конструкції радіаторів з вказівкою їх основних конструкційних параметрів наведені на рис. 2.3.



а – пластинчастий радіатор, б – ребристий радіатор, в – штирвовий радіатор

Рисунок 2.3 – Конструкції радіаторів

Тип радіатора вибирається на основі конструктивних та технологічних вимог. При цьому слід враховувати наступні рекомендації.

Вибір матеріалу радіатора слід робити, виходячи з теплопровідності (додаток В), вимог до маси та вартості радіатора.

Найбільшу теплопровідність мають мідь, алюміній та їх сплави. Мідь дорожче алюмінію та має більшу густину.

Найменшу масу забезпечують радіатори з магнієвих сплавів, але їх виготовлення більш трудомістке.

Тип радіатора вибирається виходячи з конструктивних вимог, вимог технологічності та типу виробництва.

При необхідності мінімізації вартості слід віддавати перевагу пластинчастим радіаторам, мінімізації маси – штирвовим радіаторам, мінімізації об'єму – ребристим.

У одиничному та дрібносерійному виробництві використання штирьових радіаторів небажано, тому що вони виготовляються методом лиття під тиском.

2.1.1.4 Розрахунок допустимого перегріву радіатора

Розрахунок проводиться за формулою 2.3:

$$\Delta t_{P \text{ доп}} = P \cdot R_{P \text{ доп}} \cdot k_t, \quad (2.3)$$

де k_t – поправний коефіцієнт, який враховує температуру зовнішнього середовища, визначається за графіком, наведеним у додатку Г.

2.1.1.5 Визначення довжини радіатора L

Для вільної конвекції слід розрахувати середню температуру $t_m = t_c + \frac{\Delta t_{P \text{ доп}}}{2}$, після чого визначити довжину радіатора L за номограмою, наведеною у додатку Д.

Для вимушеної конвекції задати значення L з конструктивних міркувань.

2.1.1.6 Проектний розрахунок пластинчастого радіатора

Для пластинчастого радіатора для відомої довжини L знайти:

– для вільної конвекції комплекс $\frac{P}{F_{OCH}}$ при заданому $\Delta t_{P \text{ доп}}$

за графіками, наведеними на рис. 2.4;

– для вимушеної конвекції комплекс $\frac{P}{F_{OCH} \cdot \Delta t}$ при заданій

швидкості потоку w за графіками, наведеними на рис. 2.5.

З отриманого комплексу визначити площу основи F_{OCH} та ширину радіатора B .

Товщиною δ задатися з конструктивних міркувань.

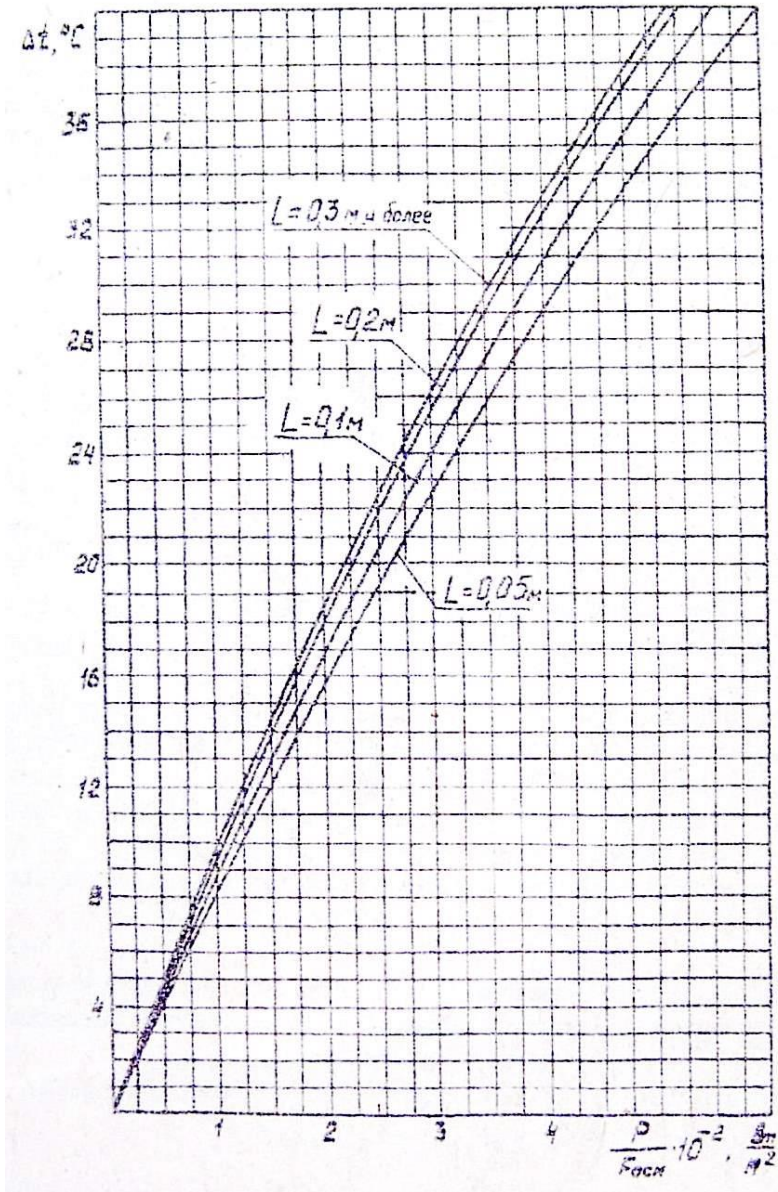


Рисунок 2.4 – Радіатор пластинчастий. Вільна конвекція

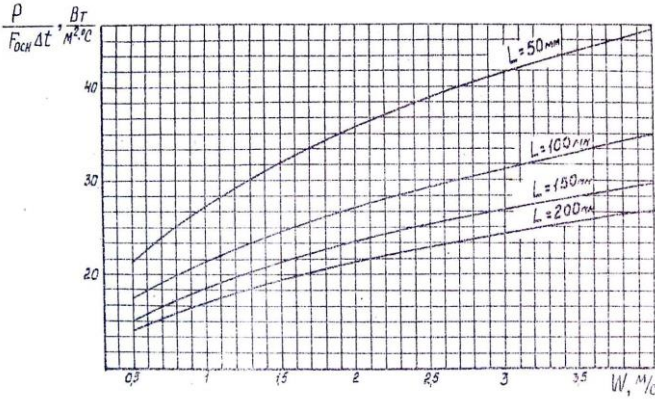


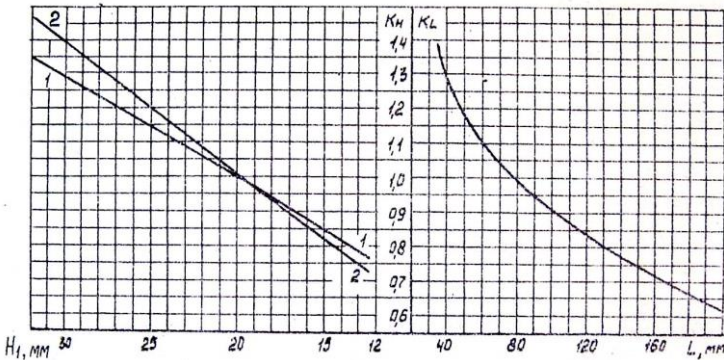
Рисунок 2.5 – Радіатор пластинчастий. Вимушена конвекція

2.1.1.7 Проектний розрахунок ребристого радіатора

Для ребристого радіатора слід задати тип оребрення (однобічне або двобічне) та висоту ребра H_I . Висота ребра H_I вибирається з конструктивних міркувань та може знаходитися у діапазоні від 12 мм до 32 мм.

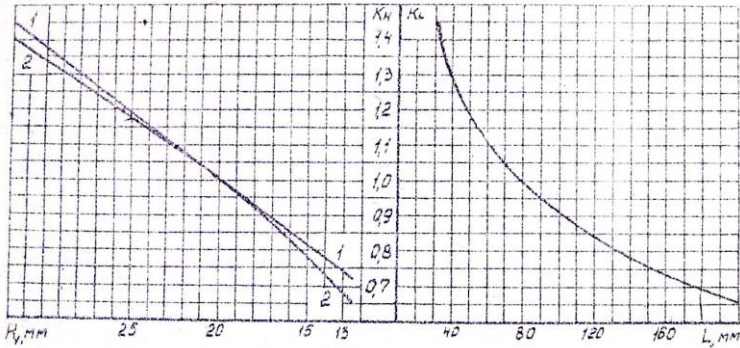
За відомими L та H_I знайти поправні коефіцієнти K_L, K_H :

- для вільної конвекції за графіками, наведеними на рис. 2.6;
- для вимушеної конвекції при заданій швидкості потоку w за графіками, наведеними на рис. 2.7.



1–1 – однобічне оребрення, 2–2 – двобічне оребрення

Рисунок 2.6 – Радіатор ребристий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вільної конвекції

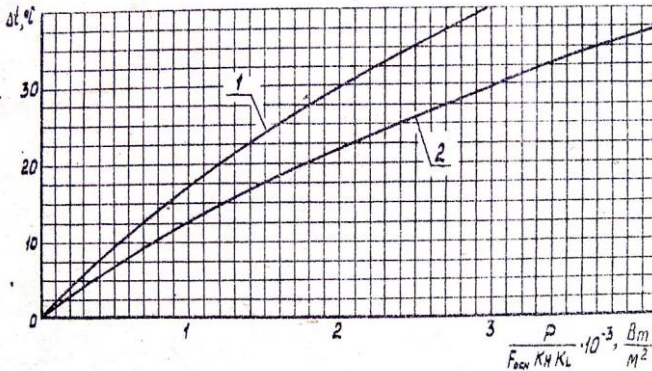


1–1 – однобічне оребрення, 2–2 – двобічне оребрення

Рисунок 2.7 – Радіатор ребристий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вимушеної конвекції

Враховуючи $\Delta t_{\text{доп}}$, знайти комплекс $\frac{P}{F_{\text{ОСН}} \cdot K_H \cdot K_L}$:

- для вільної конвекції за графіками, наведеними на рис. 2.8;
- для вимушеної конвекції при заданій швидкості потоку w для однобічного радіатора за графіками, наведеними на рис. 2.9;
- для вимушеної конвекції при заданій швидкості потоку w для двобічного радіатора за графіками, наведеними на рис. 2.10.



1–1 – однобічне оребрення, 2–2 – двобічне оребрення

Рисунок 2.8 – Радіатор ребристий. Вільна конвекція

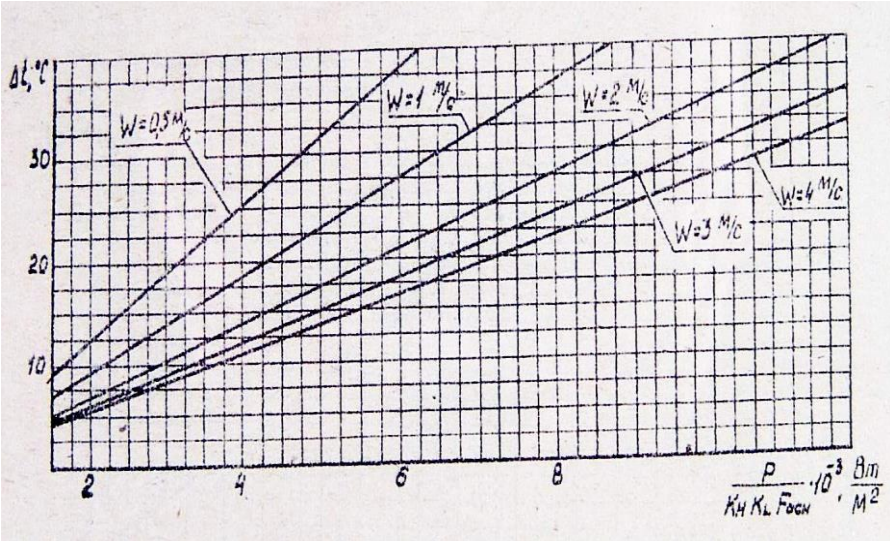


Рисунок 2.9 – Радіатор ребристий однібічний. Вимушена конвекція

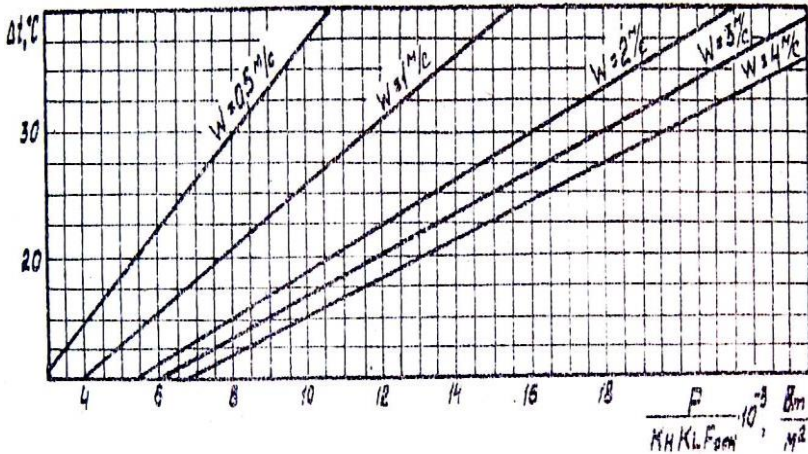


Рисунок 2.10 – Радіатор ребристий двобічний. Вимушена конвекція

З отриманого комплексу визначити площу основи $F_{осн}$ та ширину радіатора B .

Висоту радіатора $H=H_1+h$ та ширину ребра b задати з конструктивних міркувань:

- рекомендовані значення h складають від 3 мм до 5 мм, при цьому рекомендовані співвідношення $Hl : H$ складають 4 : 5;
- рекомендовані значення товщини ребра b складають від 0,5 мм до 2,0 мм;
- оптимальний крок s між ребрами складає:
 - а) для вільної конвекції від 3 мм до 10 мм;
 - б) для вимушеної конвекції від 6 мм до 10 мм.

2.1.1.8 Проектний розрахунок штирьового радіатора

Для штирьового радіатора слід задати тип розташування штирів (однобічний або двобічний), висоту штиря Hl та крок s між штирями:

- для вільної конвекції 7 мм або 9 мм;
- для вимушеної конвекції 5 мм або 7 мм.

Висота штиря Hl вибирається з конструктивних міркувань та може знаходитися у діапазоні від 12 мм до 32 мм.

За відомими L та Hl знайти поправні коефіцієнти K_L , K_H :

- для вільної конвекції за графіками, наведеними на рис. 2.11, 2.12;
- для вимушеної конвекції при заданій швидкості потоку w за графіками, наведеними на рис. 2.13, 2.14.

Враховуючи $\Delta t_{\text{доп}}$, знайти комплекс

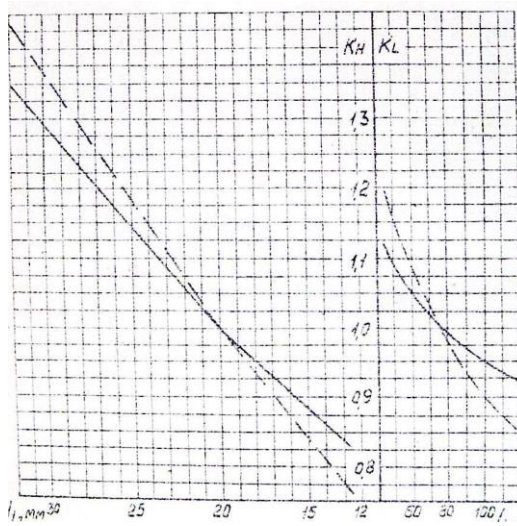
$$\frac{P}{F_{OCH} \cdot K_H \cdot K_L} :$$

- для вільної конвекції за графіками, наведеними на рис. 2.15;
- для вимушеної конвекції при заданій швидкості потоку w за графіками, наведеними на рис. 2.16.

З отриманого комплексу визначити площу основи F_{OCH} та ширину радіатора B .

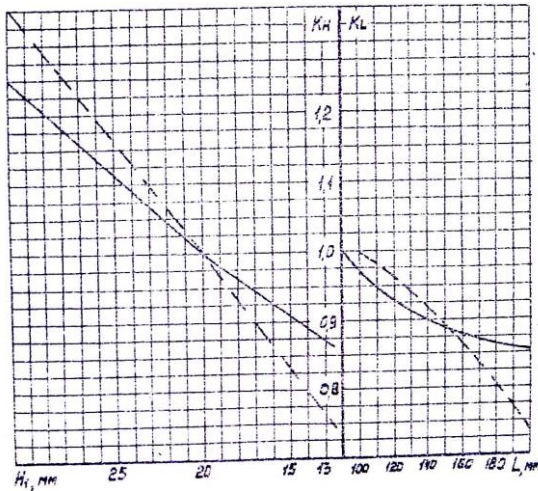
Висоту радіатора $H=Hl+h$ та діаметр штиря d задати з конструктивних міркувань:

- рекомендовані значення h складають від 3 мм до 5 мм;
- рекомендовані значення діаметра штиря d складають від 0,3 мм до 2,0 мм.



----- однобічний радіатор, - - - - - двобічний радіатор

Рисунок 2.11 – Радіатор штир'ювий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вільної конвекції при $s = 7$ мм



----- однобічний радіатор, - - - - - двобічний радіатор

Рисунок 2.12 – Радіатор штир'ювий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вільної конвекції при $s = 9$ мм

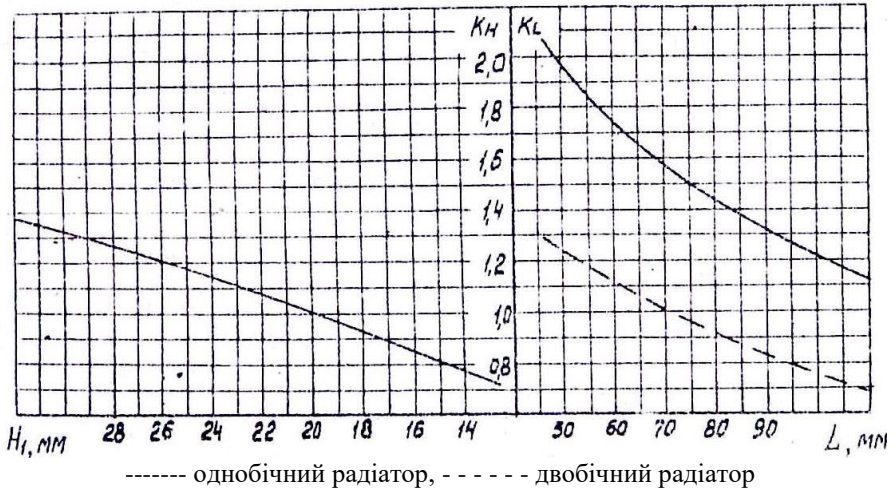


Рисунок 2.13 – Радіатор штир'ювий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вимушеної конвекції при $s = 5$ мм

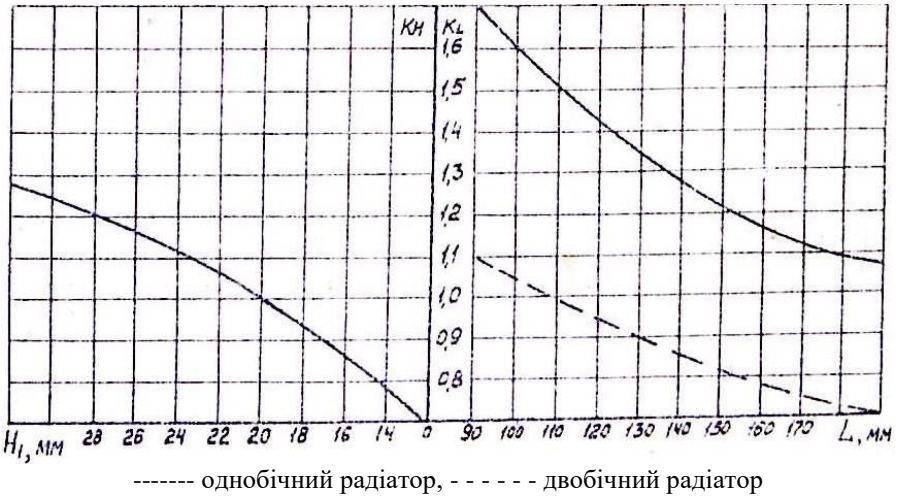
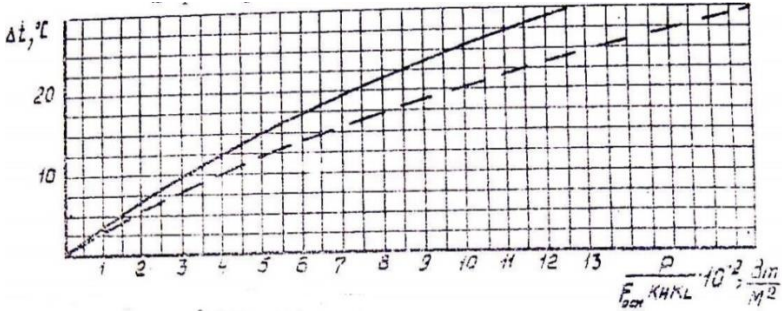
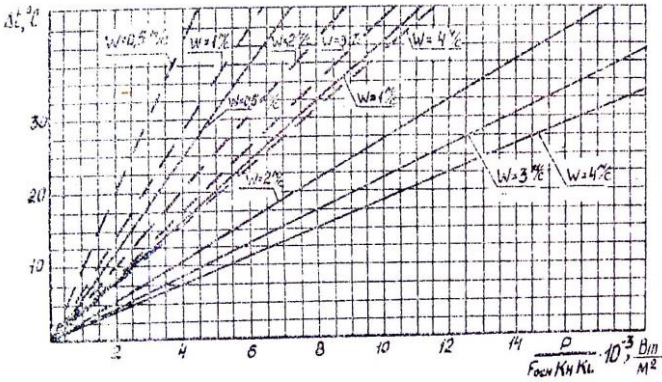


Рисунок 2.14 – Радіатор штир'ювий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вимушеної конвекції при $s = 7$ мм



----- однобічний радіатор, - - - - - двобічний радіатор

Рисунок 2.15 – Радіатор штирьовий. Вільна конвекція



----- $s = 5$ мм,

- - - - - $s = 7$ мм

Рисунок 2.16 – Радіатор штирьовий однобічний та двобічний.
Вимушена конвекція

2.1.1.9 Розрахунок загальної площі поверхні радіатора

Розрахувати площу співдотику радіатора з навколишнім середовищем F .

2.1.2 Перевірочний розрахунок

Перевірочний розрахунок полягає у визначенні мінімально допустимої площі радіатора за формулою:

$$F_{\text{доп}} = \frac{1}{\alpha \cdot R_{\text{п доп}}}, \quad (2.4)$$

де α – загальний коефіцієнт тепловіддачі з поверхні радіатора у навколишнє середовище, складається з конвективного коефіцієнту тепловіддачі α_K та коефіцієнту тепловіддачі випромінюванням α_B :

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_B. \quad (2.5)$$

Для вільної конвекції конвективний коефіцієнт тепловіддачі α_K можна визначити за номограмою, наведеною у додатку Д.

Для вимушеної конвекції конвективний коефіцієнт тепловіддачі α_K знаходиться у межах від 70 Вт/(м² К) до 100 Вт/(м² К).

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням α_B можна визначити за графіками, наведеними у додатку Е.

Розраховану площу F слід порівняти з $F_{дон}$ та зробити висновки щодо правильності вибору конструкції радіатора.

Радіатор спроектований вірно, якщо виконується умова:

$$F \geq F_{дop}. \quad (2.6)$$

У протилежному випадку слід внести корективи у його розміри.

2.2 Завдання до роботи

2.2.1 Скласти повну та спрощену теплові моделі НПП на радіаторі.

2.2.2 Розрахувати допустимий тепловий опір радіатора за формулою 2.1 або 2.2. Тепловий опір НПП вибирати з додатку А, тепловий опір ізоляційної прокладки – з додатку Б в залежності від максимального габаритного розміру корпусу НПП. Креслення корпусів НПП наведені у додатку А.

2.2.3 Вибрати тип і матеріал радіатора на основі конструктивних та технологічних вимог.

2.2.4 Розрахувати допустимий перегрів радіатора за формулою 2.3.

2.2.5 Розрахувати конструктивні параметри радіатора.

Довжину радіатора L визначити за номограмою, наведеною у додатку Д (для вільної конвекції), або задати з конструктивних міркувань (для вимушеної конвекції).

Інші параметри визначити в залежності від типу радіатора.

2.2.5.1 Для пластинчастого радіатора:

- товщину δ задати з конструктивних міркувань;
- ширину B розрахувати за допомогою комплексу, визначеного за графіками, наведеними на рис. 2.4 або 2.5.

2.2.5.2 Для ребристого радіатора:

- тип оребрення (однобічне або двобічне) задати з конструктивних міркувань;
- висоту ребра H_I задати з конструктивних міркувань з діапазону від 12 мм до 32 мм;
- поправні коефіцієнти K_L , K_H визначити за графіками, наведеними на рис. 2.6, або 2.7;
- ширину B розрахувати за допомогою комплексу, визначеного за графіками, наведеними на рис. 2.8, 2.9 або 2.10;
- значення h задати з конструктивних міркувань з діапазону від 3 мм до 5 мм, при цьому співвідношення $H_I:H$ повинно наближуватися до 4:5;
- товщину ребра b задати з конструктивних міркувань з діапазону від 0,5 мм до 2,0 мм;
- крок між ребрами s задати з конструктивних міркувань з діапазону від 3 мм до 10 мм для вільної конвекції або від 6 мм до 10 мм для вимушеної конвекції.

2.2.5.3 Для штирьового радіатора:

- тип розташування штирів (однобічний або двобічний) задати з конструктивних міркувань;
- крок між штирями s задати з конструктивних міркувань: 7 мм або 9 мм для вільної конвекції, 5 мм або 7 мм для вимушеної конвекції;
- висоту штиря H_I задати з конструктивних міркувань з діапазону від 12 мм до 32 мм;
- поправні коефіцієнти K_L , K_H визначити за графіками, наведеними на рис. 2.11, 2.12, 2.13 або 2.14;
- ширину B розрахувати за допомогою комплексу, визначеного за графіками, наведеними на рис. 2.15 або 2.16;
- значення h задати з конструктивних міркувань з діапазону від 3 мм до 5 мм, при цьому співвідношення $H_I:H$ повинно наближуватися до 4:5;
- діаметр штиря d задати з конструктивних міркувань з діапазону від 0,3 мм до 2,0 мм.

2.2.6 Розрахувати площу співдотику радіатора з навколишнім середовищем F . Вона дорівнює сумі площин зовнішніх поверхонь радіатора за винятком площі поверхні співдотику радіатора з

корпусом НПП та площі поверхні співдотику радіатора з несучою конструкцією, на якій він встановлений.

Площа поверхні співдотику радіатора з корпусом НПП визначається в залежності від типу корпусу заданого НПП. Типи корпусів НПП та їх креслення з вказівкою розмірів наведені у додатку А.

Площу поверхні співдотику радіатора з несучою конструкцією розрахувати в залежності від його розмірів та орієнтації у просторі.

2.2.7 Визначити конвективний коефіцієнт тепловіддачі α_K :

- для вільної конвекції за номограмою, наведеною у додатку Д;
- для вимушеної конвекції задати з конструктивних міркувань у межах від $70 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ до $100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

2.2.8 Задатися коефіцієнтом чорноти поверхні радіатора ϵ у межах від 0,92 до 0,96 та за графіками, наведеними у додатку Е, визначити коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням α_B .

2.2.9 Розрахувати загальний коефіцієнт тепловіддачі з поверхні радіатора у навколишнє середовище за формулою 2.5.

2.2.10 Розрахувати мінімально допустиму площу радіатора за формулою 2.4.

2.2.11 Перевірити умову 2.6. Якщо вона не виконується, відкоригувати розміри радіатора.

2.2.12 На форматі А4 або А3 виконати детальне креслення радіатора. Місце для установки НПП та установочні розміри для його закріплення на радіаторі задати в залежності від типу корпусу.

Приклади виконання креслень радіаторів різних типів наведені у додатках Ж, К, Л.

2.3 Вихідні дані

Вихідні дані до розрахунків за варіантами наведені у таблиці 2.1.

Тип виробництва:

- для непарних варіантів: крупносерійне;
- для парних варіантів: дрібносерійне.

Забезпечити:

- для варіантів 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19: мінімальний об'єм;
- для варіантів 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20: мінімальну масу;
- для варіантів 3, 6, 9, 12, 15, 18: мінімальну вартість.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до розрахунків

№ вар.	Тип НПП	$P, \text{Вт}$	Вид охолодження	$t_c, \text{°C}$	Матеріал ізоляційної прокладки
1	IRFP250N	60	вільне	45	Слюда
2	MP1526	20	вільне	40	триацетатна плівка
3	FGA25N120AN TD	50	вільне	45	окис берилію
4	GB100DA60UP	60	вимушене, $w = 4 \text{ м/с}$	60	анодування
5	1165905T	70	вимушене, $w = 3 \text{ м/с}$	55	триацетатна плівка
6	IRFP250N	45	вільне	35	анодування
7	MP1526	35	вільне	40	окис берилію
8	FGA25N120AN TD	15	вільне	40	окис берилію
9	GB100DA60UP	60	вимушене, $w = 3 \text{ м/с}$	45	Слюда
10	1165905T	45	вимушене, $w = 1 \text{ м/с}$	50	триацетатна плівка
11	IRFP250N	50	вимушене, $w = 2 \text{ м/с}$	45	Слюда
12	MP1526	40	вільне	35	Анодування
13	FGA25N120AN TD	10	вільне	35	триацетатна плівка
14	GB100DA60UP	70	вимушене, $w = 3 \text{ м/с}$	45	окис берилію
15	1165905T	45	вільне	35	триацетатна плівка
16	IRFP250N	75	вимушене, $w = 4 \text{ м/с}$	40	Слюда
17	MP1526	30	вільне	60	окис берилію
18	FGA25N120AN TD	55	вимушене, $w = 2 \text{ м/с}$	40	Слюда
19	GB100DA60UP	30	вільне	45	Анодування
20	1165905T	55	вимушене, $w = 3 \text{ м/с}$	50	триацетатна плівка

2.4 Зміст звіту

2.4.1 Титульний лист.

2.4.2 Тема та мета роботи.

2.4.3 Вихідні дані згідно з варіантом.

2.4.4 Теплова модель НПП на радіаторі.

2.4.5 Розрахунки допустимих параметрів радіатора ($R_{\text{Рдоп}}$, $\Delta t_{\text{Рдоп}}$).

2.4.6 Обґрунтування вибору типу та матеріалу радіатора.

2.4.7 Розрахунки конструктивних параметрів радіатора.

2.4.8 Розрахунок мінімально допустимої площі радіатора та перевірка умови 2.6. Коригування розмірів радіатора (за необхідності).

2.4.9 Висновки.

2.4.10 Креслення радіатора.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Теплові процеси в електроніці / Ю. Я. Бобало, В. Вуйцик, З.Ю. Готра та інші; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга–Прес, 2007. – 360 с.
- 2 Бобало Ю.Я. Якість, надійність радіоелектронної апаратури. Елементи теорії і методи забезпечення: монографія / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник; за ред. Л.А. Недоступа. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 196 с.
- 3 Моделювання теплових процесів в РЕА: навчальний посібник / О. І. Нікольський, О. П. Шеремета. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 116 с.
- 4 Будник А. Ф. Тепломасоперенос у процесах і матеріалах дизайну матеріалів: Навчальний посібник / А. Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 158 с.
- 5 All Transistors. Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://alltransistors.com/spisall.php>

Додаток А.

Параметри НПП

Параметри НПП наведені у табл. А.1.

Таблиця А.1 – Параметри НПП

Тип НПП	IRFP250N	MP1526	FGA25N 120ANTD	GB100DA 60UP	1165905T
Матеріал	Si	Si	Si	Si	Si
Структура	МОП	PNP	N- Channel	NPN	NPN
Максимальна потужність розсіяння, P_{\max} , Вт	180	150	125	300	250
Допустима температура, $t_{\text{НПП доп}}$, °C	130	130	110	130	150
Тепловий опір, $R_{\text{ПТ}}$, °C/Вт	0,94	0,83	1,82	0,68	0,70
Тип корпусу	TO-247AC	TO-3P-3L	TO-3PN	SOT-227	TO-3

Креслення корпусів НПП з вказівкою розмірів наведені на рис. А.1 – А.5.

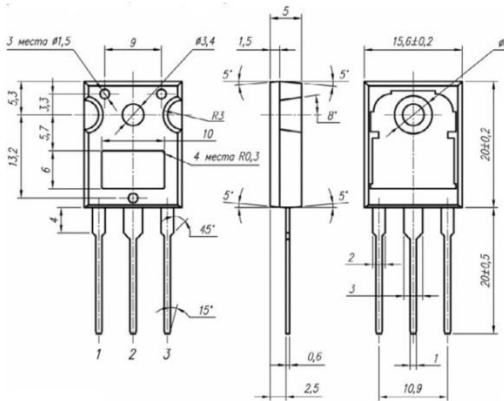


Рисунок А.1 – Корпус TO-247 AC

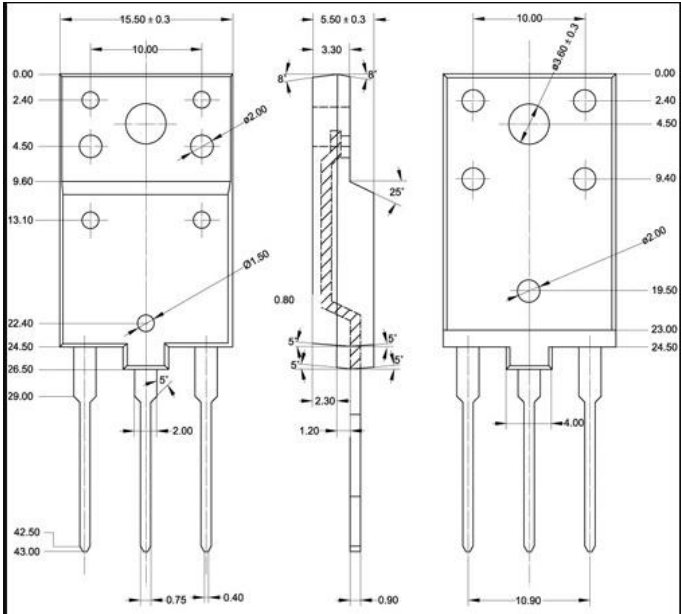


Рисунок А.2 – Корпус ТО-3Р-3L

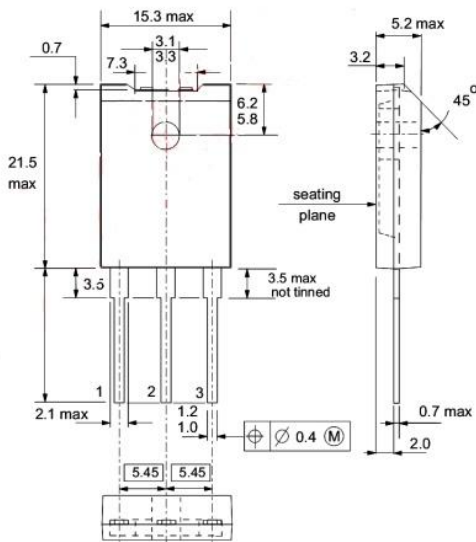


Рисунок А.3 – Корпус ТО-3РN

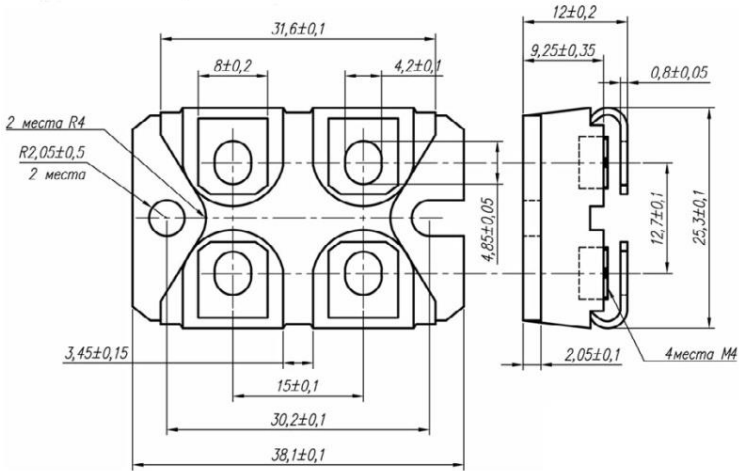


Рисунок А.4 – Корпус SOT-227

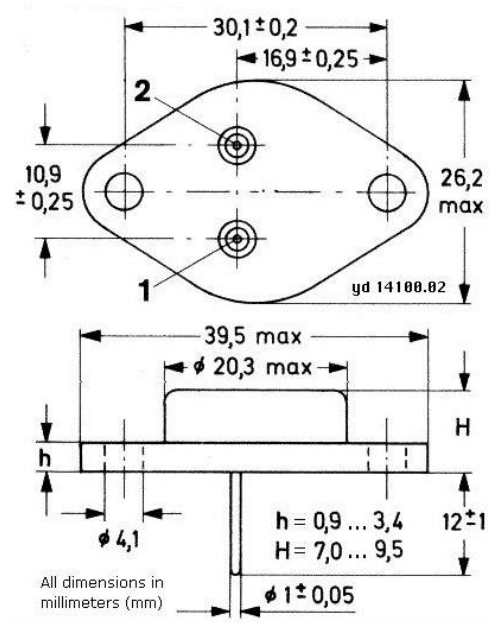


Рисунок А.5 – Корпус TO-3

Додаток Б.

Параметри ізоляційних прокладок

Параметри ізоляційних прокладок наведені у табл. Б.1.

Таблиця Б.1 – Параметри ізоляційних прокладок

Тип прокладки	Товщина, мм	Тепловий опір R_{I3} , К/Вт при габаритному розмірі	
		більше 19 мм	менше 19 мм
Слюда	0,050	0,40	0,70
Триацетатна плівка	0,070	1,00	2,00
Окис берилію	2,000	0,30	0,50
Глибоке анодування	від 0,035 до 0,040	від 0,50 до 0,65	від 1,20 до 1,50

Додаток В.**Параметри матеріалів радіаторів**

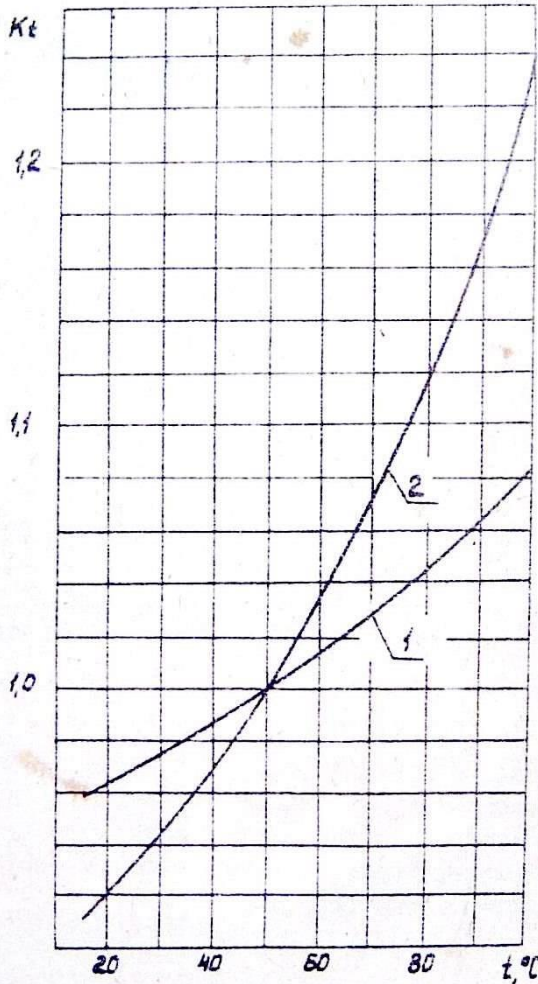
Параметри матеріалів радіаторів наведені у табл. В.1.

Таблиця В.1 – Параметри матеріалів радіаторів

Матеріал	Марка	Густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/ (м °С)
Технічний алюміній	АД1, АД, АМ, АМЦ	2710	від 218 до 226
		2730	180
Алюмінієві сплави	Ал2, Ал9, Д16М, Д16Т	2650	175
		2660	151
		2780	192
		2780	121
Мідь	М1, М2, М3	8940	385
Латунь	ЛІ59	8850	247
Магнієві сплави	МА-1, МА-3, МА-8, ВМ-65-1	від 1700 до 1800	116
			65
			124
			109

Додаток Г.

Поправний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища



1 – радіатори ребристі; 2 – радіатори пластинчасті та штирьові

Рисунок Г.1 – Поправний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища

Додаток Д.

Номограма для визначення конвективного коефіцієнта тепловіддачі α_k в умовах вільної конвекції

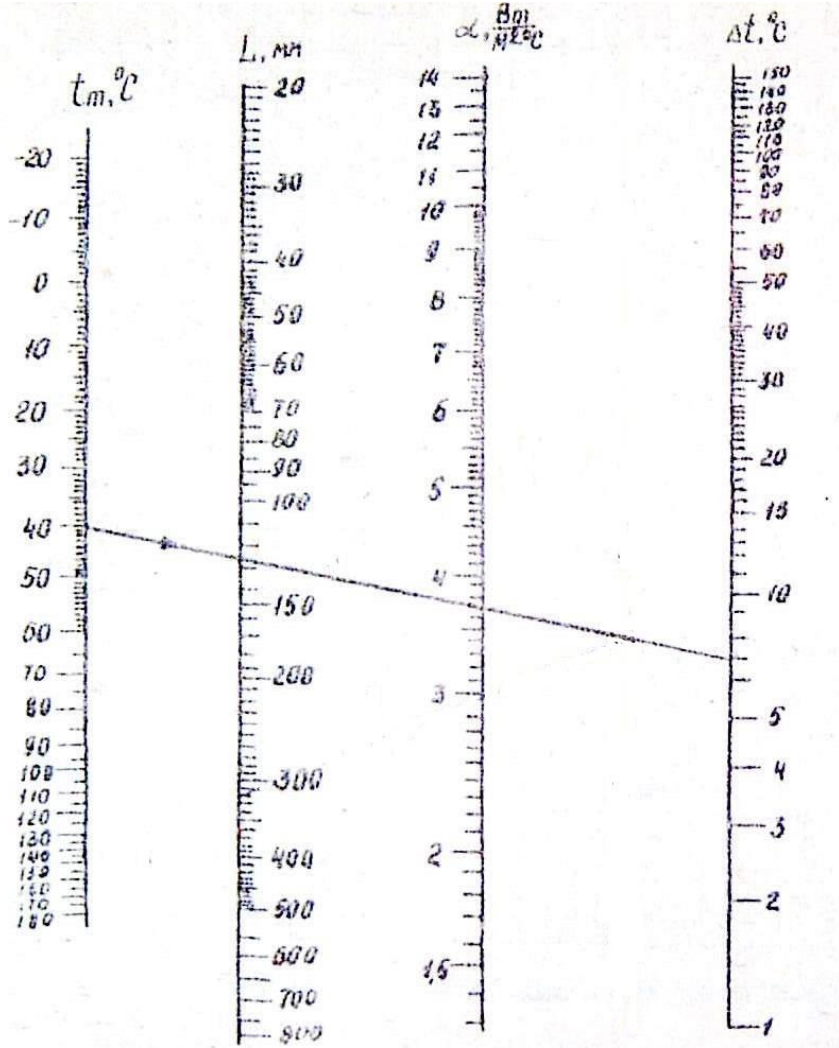


Рисунок Д.1 – Номограма для визначення конвективного коефіцієнта тепловіддачі α_k в умовах вільної конвекції

Додаток Е.

Залежність коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням α_v від перегріву для різних температур навколишнього середовища

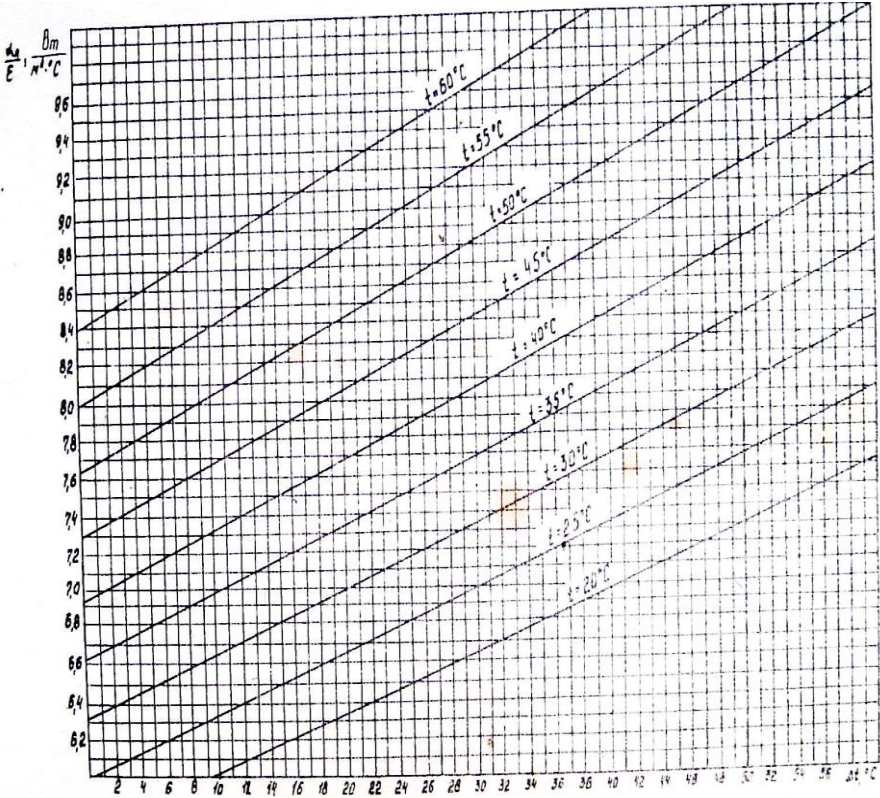
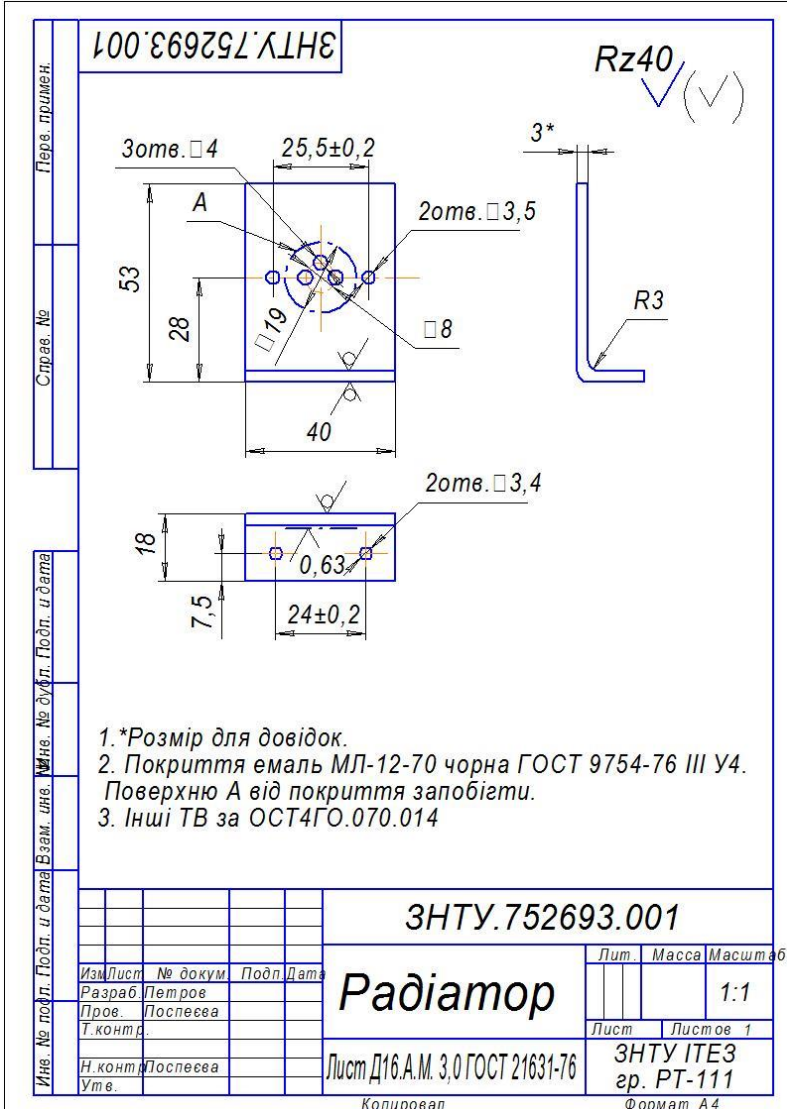


Рисунок Е.1 – Графіки залежності коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням α_v від перегріву для різних температур навколишнього середовища

Додаток Ж.

Приклад креслення пластинчастого радіатора



Додаток Л.

Приклад креслення штирьового радіатора

Перв. примен.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">ЗНТУ.752695.008</div>	<p>Rz40 √(√)</p>																														
Справ. №																																
Име. № докл. Подп. и дата	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відливка I групи за ОСТ4.021.203-87 2. Невказані радіуси скруглень 2 мм тах 3. Ливарні ухили 1° 4. Точність відливки 6-0-0-5 ГОСТ 26645-85 5. Покриття емаль ПФ-115 чорна IV У4 ГОСТ 6465-76. Поверхню А від покриття запобігти 6. Інші ТВ за ОСТГО.070.014 																															
Взам. име. № докл. Подп. и дата	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; font-weight: bold;">ЗНТУ.752695.008</div>																															
Име. № докл. Подп. и дата	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Изм</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 20%;">№ докум</td> <td style="width: 10%;">Подп</td> <td style="width: 10%;">Дата</td> </tr> <tr> <td>Разраб</td> <td>Бойко</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Пров.</td> <td>Поспеева</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>И.контр</td> <td>Поспеева</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	Разраб	Бойко				Пров.	Поспеева				Т.контр.					И.контр	Поспеева				Утв.				
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата																												
Разраб	Бойко																															
Пров.	Поспеева																															
Т.контр.																																
И.контр	Поспеева																															
Утв.																																
		<div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">Радіатор</div>																														
		Сплав АК12 (Ал2) ГОСТ 1583-89																														
		ЗНТУ ІТЕЗ гр. РТ-110																														
		Копировал Формат А4																														